



**ITS**  
Institut  
Teknologi  
Sepuluh Nopember

**TUGAS AKHIR - TE 141599**

**RANCANG BANGUN *UNDERWATER REMOTELY OPERATED VEHICLE* UNTUK MEMANTAU NILAI pH PADA BADAN AIR**

Andika Cendekia Prima  
NRP. 0711 13 40000 118

Dosen Pembimbing  
Ronny Mardiyanto, ST. MT. Ph.D

Departemen Teknik Elektro  
Fakultas Teknologi Elektro  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2018





**ITS**  
Institut  
Teknologi  
Sepuluh Nopember

**TUGAS AKHIR - TE 141599**

**RANCANG BANGUN *UNDERWATER REMOTELY  
OPERATED VEHICLE* UNTUK MEMANTAU NILAI pH PADA  
BADAN AIR**

Andika Cendekia Prima  
NRP. 0711 13 40000 118

Dosen Pembimbing  
Ronny Mardiyanto, ST. MT. Ph.D

Departemen Teknik Elektro  
Fakultas Teknologi Elektro  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2018





**ITS**  
Institut  
Teknologi  
Sepuluh Nopember

**FINAL PROJECT - TE 141599**

## **DESIGN OF UNDERWATER REMOTELY OPERATED VEHICLE TO MONITOR pH VALUE OF WATER**

Andika Cendekia Prima  
NRP. 0711 13 40000 118

Supervisor  
Ronny Mardiyanto, ST. MT. Ph.D

Department of Electrical Engineering  
Faculty of Electrical Technology  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2018



## **PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR**

Dengan ini saya menyatakan bahwa isi sebagian maupun keseluruhan Tugas Akhir saya dengan judul “Rancang Bangun Underwater Remotely Operated Vehicle untuk Memantau Nilai pH pada Badan Air” adalah benar-benar hasil karya intelektual mandiri, diselesaikan tanpa menggunakan bahan-bahan yang tidak diijinkan dan bukan merupakan karya pihak lain yang saya akui sebagai karya sendiri.

Semua referensi yang dikutip maupun dirujuk telah ditulis secara lengkap pada daftar pustaka. Apabila ternyata pernyataan ini tidak benar, saya bersedia menerima sanksi sesuai peraturan yang berlaku.

Surabaya, 26 Desember 2017

Andika Cendekia Prima  
NRP. 0711 13 40000 118





**RANCANG BANGUN UNDERWATER REMOTELY  
OPERATED VEHICLE UNTUK MONITORING NILAI  
pH PADA BADAN AIR**

**TUGAS AKHIR**

**Diajukan Guna Memenuhi Sebagian Persyaratan  
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
Pada**

**Bidang Studi Elektronika  
Departemen Teknik Elektro  
Fakultas Teknologi Elektro  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

**Menyetujui:**

**Dosen Pembimbing**



**Ronny Mardiyanto, ST., MT., Ph.D.**

**NIP. 19810118 200312 1 003**



**Nama : Andika Cendekia Prima**  
**Dosen Pembimbing : Ronny Mardiyanto, ST. MT. Ph.D**

## **ABSTRAK**

Underwater Remotely Operated vehicle (UROV) dirancang agar mudah digunakan di dalam air untuk melakukan aktifitas pemantauan nilai pH air pada lingkungan tertentu khususnya pada badan air dengan kedalaman tertentu. Perihal kualitas air telah menjadi salah satu faktor dalam menentukan kesejahteraan kehidupan manusia. Nilai pH merupakan salah satu parameter dalam mengidentifikasi kualitas air secara keseluruhan. Selama ini pengambilan data pH air dilakukan secara manual menggunakan pH meter. Metode konvensional ini mempunyai batasan seperti nilai pH yang dapat diambil sample nya hanya pada permukaan, beberapa area bahkan tidak dapat dijangkau dengan menggunakan metode konvensional ini.

Robot ROV ini dirancang dengan dimensi 500x350x250 milimeter dengan 4 buah motor untuk bergerak secara vertikal dan 2 buah motor untuk bergerak secara horizontal agar robot dapat bergerak secara fleksibel dalam melakukan monitoring nilai pH air. Robot ROV dilengkapi dengan sistem kontrol PID untuk menjaga posisi robot ketika berada di dalam air. Error sensor kedalaman sebesar 0-3 cm. Data nilai pH dari sensor lalu disimpan di dalam server lokal pada komputer. Pembacaan nilai pH menggunakan sensor pH pada danau 8 ITS Surabaya memiliki error pembacaan sebesar 6,1%.

***Kata kunci : Kontrol PID, pH, ROV***

*Halaman ini sengaja dikosongkan.*

# **DESIGN OF UNDERWATER REMOTELY OPERATED VEHICLE TO MONITOR pH VALUE OF WATER**

**Name : Andika Cendekia Prima**  
**Supervisor : Ronny Mardiyanto, ST. MT. Ph.D**

## **ABSTRACT**

Underwater Remotely Operated vehicle (UROV) is designed to be easy to use in the water to conduct monitoring activities against water pH values in certain environments. The quality of water has become one of the factors in determining the welfare of human life. The pH value is one of the parameters in identifying the overall water quality. So far, water pH data taking is done manually using pH meter by taking water sampling in one spot, and move to the other spots for other measurements. This conventional method has limits such as pH values that can be sampled only on the surface, some areas can not even be reached by using this conventional method.

This ROV robot is designed with dimensions of 500x350x250 millimeters with 4 motors to move vertically and 2 pieces of motors to move horizontally so that the robot can move flexibly in the monitoring of the pH value of water. ROV robot equipped with PID control system to keep the robot position when in the water. The pH value data of the sensor is then stored inside the local server on the computer. The pH value reading using pH sensor on danau delapan ITS Surabaya had a reading error of 6,1%.

***Keywords : PID Control, pH, ROV***

*Halaman ini sengaja dikosongkan.*

## KATA PENGANTAR

Puji dan syukur kepada Allah SWT atas berkat dan hikmat yang diberikan, penulis dapat menyelesaikan laporan tugas akhir dengan judul **“RANCANG BANGUN *UNDERWATER REMOTELY OPERATED VEHICLE* UNTUK MONITORING NILAI pH PADA BADAN AIR”**, sebagai salah satu persyaratan dalam menyelesaikan pendidikan program Strata-Satu di Departemen Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Elektro, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Dalam penyusunan dan penyelesaian laporan Tugas Akhir ini penulis mendapatkan banyak sekali doa, bantuan dan dukungan dari berbagai pihak. Untuk itu penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar – besarnya kepada :

1. Kedua orang tua, yang tak henti-hentinya memberikan semangat dan kasih sayang yang luar biasa kepada penulis.
2. Bapak Ronny Mardiyanto, ST., MT., Ph.D selaku dosen pembimbing atas gagasan topik tugas akhir serta bimbingan dan arahan untuk penulis selama mengerjakan tugas akhir.
3. Seluruh dosen bidang studi elektronika Departemen Teknik Elektro ITS.
4. Teman-teman bidang studi elektronika yang tidak dapat disebutkan satu-persatu yang telah membantu dan memberikan semangat kepada penulis selama menjalani perkuliahan di Departemen Teknik Elektro ITS.

Penulis menyadari bahwa masih banyak yang dapat dikembangkan pada tugas akhir ini. Oleh karena itu penulis menerima setiap masukan dan kritik yang diberikan. Semoga tugas akhir ini dapat memberikan manfaat bagi banyak pihak.

Surabaya, 26 Desember 2017

Penulis

*Halaman ini sengaja dikosongkan.*

# DAFTAR ISI

|  |                                     |
|--|-------------------------------------|
| LEMBAR PENGESAHAN .....  | <b>Error! Bookmark not defined.</b> |
| ABSTRAK.....   | i                                   |
| ABSTRACT .....   | iv                                  |
| KATA PENGANTAR .....   | vi                                  |
| DAFTAR ISI.....  | viii                                |
| DAFTAR GAMBAR .....  | xi                                  |
| DAFTAR TABEL.....  | xiv                                 |
| BAB I PENDAHULUAN .....  | 1                                   |
| 1.1 Latar Belakang.....  | 1                                   |
| 1.2 Rumusan Masalah .....  | 2                                   |
| 1.3 Tujuan.....  | 3                                   |
| 1.4 Batasan Masalah.....   | 3                                   |
| 1.5 Metodologi .....   | 3                                   |
| 1.6 Sistematika Penulisan .....                                  | 5                                   |
| 1.7 Relevansi dan Manfaat .....                                  | 5                                   |
| BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....                                     | 7                                   |
| 2.1 <i>Remotely Operated Vehicle (ROV)</i> .....                 | 7                                   |
| 2.2 Model Matematik Kinematika ROV .....                         | 10                                  |
| 2.2.1 Model Dinamika Quadrotor.....                              | 10                                  |
| 2.2.2 Persamaan Gerak Quadrotor .....                            | 13                                  |
| 2.3 Hukum Archimedes .....                                       | 13                                  |
| 2.4 <i>Water Quality Index</i> .....                             | 14                                  |
| 2.5 Sistem Kontrol.....  | 15                                  |
| 2.5.1 Sistem Kontrol Terbuka ( <i>Open Loop</i> ) .....          | 15                                  |
| 2.5.2 <i>Feedback</i> Kontrol Sistem ( <i>Closed Loop</i> )..... | 16                                  |
| 2.5.3 Respon Sistem Kontrol .....                                | 16                                  |
| 2.5.4 Model Matematik Sistem Kontrol Motor DC .....              | 18                                  |
| 2.5.5 Aksi Kontrol .....   | 19                                  |
| 2.5.6 Aksi Kontrol PID .....                                     | 22                                  |
| 2.6 Nilai pH .....   | 23                                  |
| 2.7 Bilge Pump .....   | 23                                  |
| 2.8 Motor Driver VNH2sp30.....                                   | 23                                  |
| 2.9 Arduino Mega.....  | 25                                  |
| 2.10 MPU6050 .....   | 26                                  |
| 2.11 MS5803 .....  | 26                                  |
| 2.12 Sensor pH .....   | 28                                  |
| 2.13 Kontroler PS2 .....   | 30                                  |



|   |   |           |
|---|---|-----------|
| 2.14                                      | Buck Konverter DC-DC .....                          | 31        |
| 2.15                                      | Baterai Lithium Polymer .....                       | 32        |
| 2.16                                      | Tinjauan Pustaka .....                              | 35        |
| <b>BAB III PERANCANGAN SISTEM .....</b>   |   | <b>43</b> |
| 3.1                                       | Diagram Alir Perencanaan.....                       | 43        |
| 3.2                                       | Penjelasan Diagram Alir.....                        | 47        |
| 3.2.1                                     | Studi literatur .....                               | 48        |
| 3.2.2                                     | Perancangan desain robot .....                      | 48        |
| 3.2.3                                     | Perancangan mekanik dan sistem kontrol .....        | 48        |
| 3.2.4                                     | Pembuatan dan perakitan robot.....                  | 48        |
| 3.2.5                                     | Pengujian robot ROV .....                           | 48        |
| 3.2.6                                     | Pembuatan laporan.....                              | 49        |
| 3.3                                       | Perancangan Robot ROV .....                         | 49        |
| 3.3.1                                     | Rancangan Desain Robot .....                        | 49        |
| 3.3.2                                     | Persamaan Gaya Apung Robot .....                    | 54        |
| 3.3.3                                     | Model Matematik Pergerakan Quadrotor Robot.....     | 55        |
| 3.3.4                                     | Driver Motor .....                                  | 57        |
| 3.3.5                                     | Perancangan Sensor pH .....                         | 59        |
| 3.4                                       | Perancangan Perangkat Lunak.....                    | 60        |
| 3.4.1                                     | Akuisisi data sensor IMU.....                       | 60        |
| 3.4.2                                     | Akuisisi data sensor IMU.....                       | 61        |
| <b>BAB IV PENGUJIAN DAN ANALISA .....</b> |   | <b>65</b> |
| 4.1                                       | Realisasi Desain.....                               | 65        |
| 4.2                                       | Pengujian Sensor MS 5803.....                       | 66        |
| 4.2.1                                     | Pengujian di dalam Air .....                        | 67        |
| 4.2.2                                     | Kalibrasi Sensor MS5803 .....                       | 67        |
| 4.2.3                                     | Uji Error Pembacaan Sensor .....                    | 68        |
| 4.3                                       | Pengujian Kontrol PID .....                         | 69        |
| 4.3.1                                     | Pengujian Kontrol PID Pitch Depan dan Belakang .... | 70        |
| 4.3.2                                     | Pengujian Kontrol PID Roll Kanan dan Kiri .....     | 71        |
| 4.4                                       | Uji Kecepatan Naik ROV dengan Beban .....           | 73        |
| 4.5                                       | Pengujian Sensor pH .....                           | 74        |
| 4.5.1                                     | Kalibrasi Sensor pH.....                            | 74        |
| 4.5.2                                     | Hasil pembacaan sensor pH.....                      | 76        |
| 4.6                                       | Spesifikasi Robot ROV Setelah Pengujian.....        | 77        |
| <b>BAB V PENUTUP.....</b>                 |   | <b>79</b> |
| 4.7                                       | Kesimpulan.....                                     | 79        |
| 4.8                                       | Saran .....   | 79        |
| <b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>               |   | <b>81</b> |

|               |    |
|---------------|----|
| LAMPIRAN..... | 85 |
| BIOGRAFI..... | 89 |

*Halaman ini sengaja dikosongkan.*

## DAFTAR GAMBAR

|  |    |
|--|----|
| <b>Gambar 2.1</b> ROV tampak isometri .....  | 8  |
| <b>Gambar 2.2</b> Koordinat ROV .....  | 9  |
| <b>Gambar 2.3</b> Konfigurasi + dan konfigurasi x pada quadrotor .....                 | 11 |
| <b>Gambar 2.4</b> Gaya, momen, dan referensi sistem dalam quadrotor .....              | 12 |
| <b>Gambar 2.5</b> Pengontrolan gaya total pada sudut roll, pitch, yaw dan thrust ..... | 13 |
| <b>Gambar 2.6</b> Ilustrasi hukum Archimedes .....                                     | 14 |
| <b>Gambar 2.7</b> Diagram blok sistem kontrol terbuka .....                            | 15 |
| <b>Gambar 2.8</b> Diagram blok sistem kontrol tertutup .....                           | 16 |
| <b>Gambar 2.9</b> Kurva karakteristik tanggapan sistem terhadap waktu.....             | 17 |
| <b>Gambar 2.10</b> Rangkaian ekivalen motor DC .....                                   | 18 |
| <b>Gambar 2.11</b> Skema diagram blok motor DC .....                                   | 19 |
| <b>Gambar 2.12</b> Diagram blok sistem kontrol <i>proportional</i> .....               | 20 |
| <b>Gambar 2.13</b> Diagram blok sistem kontrol <i>integral</i> .....                   | 20 |
| <b>Gambar 2.14</b> Diagram blok sistem kontrol <i>derivative</i> .....                 | 21 |
| <b>Gambar 2.15</b> Diagram blok PID <sup>[23]</sup> .....                              | 22 |
| <b>Gambar 2.16</b> Motor bilge pump .....  | 23 |
| <b>Gambar 2.17</b> Driver Motor VNH2sp30 .....   | 24 |
| <b>Gambar 2.18</b> Arduino Mega .....  | 25 |
| <b>Gambar 2.19</b> MPU6050 .....   | 26 |
| <b>Gambar 2.20</b> MS5803 .....  | 27 |
| <b>Gambar 2.21</b> Sensor pH - PH Meter (SKU:SEN0161) .....                            | 28 |
| <b>Gambar 2.22</b> Dimensi PH2.0 Interface .....                                       | 28 |
| <b>Gambar 2.23</b> Kontroler PS2 .....   | 30 |
| <b>Gambar 2.24</b> Skematik kontroler PS2 .....  | 31 |
| <b>Gambar 2.25</b> Rangkaian Buck Konverter .....                                      | 31 |
| <b>Gambar 2.26</b> Keadaan ON .....  | 32 |
| <b>Gambar 2.27</b> Keadaan OFF .....   | 32 |
| <b>Gambar 2.28</b> Baterai LiPo .....  | 34 |
| <b>Gambar 2.29</b> Tumpukan sel baterai LiPo .....                                     | 34 |
| <b>Gambar 3.1</b> Integrasi antar sistem .....   | 43 |
| <b>Gambar 3.2</b> Perancangan ROV secara keseluruhan .....                             | 44 |
| <b>Gambar 3.3</b> Diagram blok perancangan sistem kontrol ROV .....                    | 46 |
| <b>Gambar 3.4</b> Diagram alir perencanaan .....                                       | 47 |
| <b>Gambar 3.5</b> Desain robot tampak depan .....                                      | 49 |
| <b>Gambar 3.6</b> Desain robot tampak isometri .....                                   | 50 |
| <b>Gambar 3.7</b> Perancangan peletakan motor robot .....                              | 50 |

|   |    |
|---|----|
| <b>Gambar 3.8</b> Ilustrasi tabung akrilik .....                                | 51 |
| <b>Gambar 3.9</b> Perancangan tutup tabung .....                                | 52 |
| <b>Gambar 3.10</b> Perancangan tutup tabung akrilik.....                        | 52 |
| <b>Gambar 3.11</b> Perancangan dome .....                                       | 53 |
| <b>Gambar 3.12</b> Model matematik quadrotor.....                               | 56 |
| <b>Gambar 3.13</b> Model matematis rotasi terhadap sumbu x .....                | 56 |
| <b>Gambar 3.14</b> Model matematis rotasi terhadap sumbu y .....                | 57 |
| <b>Gambar 3.15</b> Koneksi motor driver ke arduino mega.....                    | 58 |
| <b>Gambar 3.16</b> Rangkaian skematik motor driver vnh2sp30 .....               | 58 |
| <b>Gambar 3.17</b> Koneksi sensor pH ke arduino mega .....                      | 59 |
| <b>Gambar 3.18</b> Rangkaian skematik sensor pH.....                            | 60 |
| <b>Gambar 3.19</b> Flowchart kalibrasi arah sensor MPU6050 GY-521 .....         | 61 |
| <b>Gambar 3.20</b> Flowchart sensor IMU, kedalaman, PID dan kontrol robot ..... | 62 |
| <b>Gambar 3.21</b> Skematik perancangan ROV.....                                | 63 |
| <b>Gambar 3.22</b> Desain PCB perancangan ROV .....                             | 64 |
| <b>Gambar 4.1</b> Realisasi desain robot ROV tampak isometri .....              | 66 |
| <b>Gambar 4.2</b> Uji Coba Sensor MS5803 di dalam Air .....                     | 67 |
| <b>Gambar 4.3</b> Grafik Pengujian MS5803 .....                                 | 69 |
| <b>Gambar 4.4</b> Grafik Pengujian MS5803 .....                                 | 69 |
| <b>Gambar 4.5</b> Hasil Kontrol PID Pitch Depan .....                           | 70 |
| <b>Gambar 4.6</b> Hasil Kontrol PID Pitch Belakang.....                         | 71 |
| <b>Gambar 4.7</b> Hasil Kontrol PID Roll Kanan.....                             | 72 |
| <b>Gambar 4.8</b> Hasil Kontrol PID Roll Kiri.....                              | 73 |
| <b>Gambar 4.9</b> Kalibrasi sensor pH.....                                      | 75 |
| <b>Gambar 4.10</b> Hasil regresi sensor pH.....                                 | 76 |

## DAFTAR TABEL

|   |    |
|---|----|
| <b>Tabel 2.1</b> Notasi Standar Gerak Benda .....                     | 8  |
| <b>Tabel 2.2</b> Indeks Kualitas Air.....                             | 15 |
| <b>Tabel 2.3</b> Spesifikasi Motor Driver VNH2sp30.....               | 24 |
| <b>Tabel 2.4</b> Spesifikasi Arduino Mega .....                       | 25 |
| <b>Tabel 2.5</b> Spesifikasi MS5803.....                              | 27 |
| <b>Tabel 2.6</b> Spesifikasi sensor pH - PH Meter (SKU:SEN0161) ..... | 29 |
| <b>Tabel 2.7</b> Hubungan Nilai Tegangan dan pH .....                 | 29 |
| <b>Tabel 2.8</b> Perbandingan baterai LiPo dengan baterai NiMH.....   | 33 |
| <b>Tabel 3.1</b> Spesifikasi Robot.....                               | 45 |
| <b>Tabel 4.1</b> Nilai Pembacaan Sensor MS5803 .....                  | 68 |
| <b>Tabel 4.2</b> Tabel Regresi Nilai Pembacaan Sensor MS5803 .....    | 68 |
| <b>Tabel 4.3</b> Nilai Pembacaan Sensor pH .....                      | 75 |
| <b>Tabel 4.4</b> Tabel Regresi Nilai Pembacaan Sensor pH .....        | 75 |
| <b>Tabel 4.5</b> Tabel hasil pembacaan sensor pH di danau 8.....      | 77 |
| <b>Tabel 4.6</b> Spesifikasi setelah pengujian.....                   | 78 |

*Halaman ini sengaja dikosongkan.*





# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Perihal kualitas air telah menjadi salah satu faktor dalam menentukan kesejahteraan kehidupan manusia. Semenjak periode industrialisasi dunia dimulai, telah terjadi pertumbuhan pesat terhadap manufaktur dan penggunaan bahan kimia sintetik dalam dunia agrikultur dan peternakan untuk meningkatkan jumlah produksi makanan. Banyak dari aktifitas seperti ini telah mengkontaminasi persediaan air, dikarenakan bahan seperti sisa insektisida dan herbisida dari lahan agrikultur hingga limbah industri yang dilepas ke perairan (Manahan, 2000).

Nilai pH merupakan salah satu parameter untuk mengetahui kualitas air pada lingkungan tertentu apakah sudah sesuai dengan baku mutu yang berlaku. Di Indonesia, terdapat Peraturan Pemerintah No. 82 Tahun 2001 yang mana di dalam peraturan tersebut terdapat baku mutu untuk nilai pH pada badan air. Sehingga nilai pH sangatlah penting untuk diketahui badan air.<sup>[14]</sup> Selain itu, nilai pH juga merupakan salah satu parameter kualitas air yang harus dipertimbangkan dalam memilih teknik pengolahan air yang akan digunakan karena pengaruh pH awal air berpengaruh terhadap efektifitas teknik pengolahan air yang akan digunakan.

Perkembangan teknologi di dunia sangat beragam, mulai dari teknologi yang berukuran besar seperti teknologi pesawat, hingga produk teknologi yang ukurannya sangat kecil seperti bioteknologi. Awal penggunaan teknologi oleh manusia ditandai dengan pengolahan sumber daya alam menjadi alat-alat yang membantu kerja manusia. Kemajuan teknologi masa kini berkembang sangat pesat, Dibuktikan dengan banyaknya inovasi-inovasi yang telah dibuat. Pesatnya perkembangan teknologi berdampak pada banyaknya pekerjaan yang sebelumnya dilakukan secara manual dimungkinkan digantikan dengan cara otomatis demi mempermudah dan menghemat penggunaan waktu dan tenaga. Saat ini, hampir dalam semua aspek kehidupan manusia sehari-hari melibatkan teknologi.

Satu dekade terakhir, Remotely Operated Vehicle (ROV) untuk riset bawah air telah dipelajari dan dikembangkan. Hal ini dikarenakan risiko kehidupan nyawa manusia ketika melakukan aktifitas di bawah air.<sup>[2]</sup> Sebagian besar bidang usaha telah mengganti secara perlahan para

penyelam dan kendaraan bawah laut yang berawak (manned submersibles) dengan robot kendaraan bawah air tanpa awak atau ROV. Sebagai tambahan pada segi keselamatan kerja, ROV juga menawarkan sebuah metode alternatif yang lebih efektif dan berbiaya rendah untuk riset bawah air atau eksplorasi laut.<sup>[1]</sup> Sebagian besar sistem ROV yang berkembang dirancang untuk dikontrol dari jarak jauh menggunakan remote control atau peralatan lainnya. Akhir-akhir ini, sejumlah ROV dan AUV (Autonomous Underwater Vehicle) telah dikembangkan untuk melakukan pengukuran dan memantau pengukuran parameter lingkungan.

Di Indonesia, ROV merupakan salah satu robot yang sedang berkembang tetapi kurang mendapat perhatian. Padahal ROV yang merupakan robot kelautan yang memiliki kemampuan untuk mengamati benda-benda yang ada di lautan sangat sesuai dengan kondisi geografis Indonesia yang merupakan negara maritim.<sup>[3]</sup> Alat ini dapat memberikan kemudahan bagi manusia untuk mengamati berbagai sumber daya yang ada di laut tanpa menyelam.

ROV telah banyak memberikan kontribusi terhadap kemajuan dunia ilmu pengetahuan. Sebelumnya, sudah ada beberapa riset dimana ROV atau AUV mempunyai tugas untuk melakukan pengukuran in situ misal tanda-tanda polusi atau pemetaan polusi. Begitu pula untuk mengetahui kualitas air, ROV juga dapat dirancang untuk melakukan penelitian dalam mengetahui keadaan kualitas air pada suatu daerah. Untuk mengaplikasikannya, ROV diberikan beberapa sensor yang terkait seperti sensor pH, sensor suhu dan sensor konduktivitas. ROV dapat mengambil dan mengolah data suatu perairan dengan bantuan sensor-sensor ini. Data-data yang terkumpul diolah oleh mikrokontroler dan dihubungkan dengan Water Quality Index yang telah ada standar nilainya. ROV dengan sensor pH ini diharapkan dapat memudahkan analisa kualitas air pada badan air dengan kedalaman maksimal 8-meter yang tidak dapat dijangkau oleh manusia. Kemampuan ROV membuatnya menjadi agen ideal untuk melakukan pemantauan lingkungan yang membutuhkan sampling secara *in situ*.

## **1.2 Rumusan Masalah**

Dalam penyusunan tugas akhir ini, masalah yang akan dibahas adalah:

1. Bagaimana merancang desain robot *underwater Remotely Operated Vehicle* (ROV)?

2. Bagaimana merancang kontroller pengendalian arah gerak robot di dalam air?
3. Bagaimana merancang kontrol PID dengan metode tuning agar robot dapat mempertahankan posisi stabil di dalam air dalam tekanan tertentu dengan menggunakan *feedback* dari sensor MPU6050 dan MS5803?
4. Bagaimana robot dapat memantau keadaan pH di dalam air dengan menggunakan sensor pH dari *dfrobot*?

### 1.3 Tujuan

Dengan mengacu latar belakang dan permasalahan di atas maka tujuan dari penulisan tugas akhir ini adalah diperolehnya rancangan sebuah *Remotely Operated Vehicle* yang dapat melakukan tugas memantau kondisi air dan perairan dengan menjadikan kadar pH sebagai indikator kualitas air.

### 1.4 Batasan Masalah

Dalam pembahasan perencanaan ini, diberikan batasan masalah sebagai berikut:

1. *Remotely Operated Vehicle* dirancang bergerak menggunakan 6 motor; 4 motor untuk bergerak ke atas dan ke bawah, dan 2 motor untuk bergerak ke depan dan ke belakang.
2. ROV dirancang untuk menyelam ke dalam air dengan panjang kabel (*thetering*) 7 meter.
3. Mikrokontroler yang digunakan ialah Arduino Mega 2560.
4. Robot hanya diuji di dalam aquarium besar dengan kedalaman 2 meter.
5. Sensor pH menggunakan sensor PS2.0 sensor interface (SKU: SEN0161) dari *dfrobot*.

### 1.5 Metodologi

Penulisan tugas akhir ini akan menggunakan metodologi penelitian sebagai berikut:

1. Studi Literatur  
Pada tahap studi literatur dilakukan pengumpulan dasar teori yang dapat menjadi acuan tugas akhir. Dasar teori akan diambil dari buku – buku, buku Tugas Akhir, jurnal yang telah dipublikasi secara internasional maupun nasional, proceeding dan artikel dari internet.

2. Perancangan Hardware

Pada tahap ini dilakukan proses desain dan pembuatan mekanik robot *Underwater Remotely Operated Vehicle* dengan bantuan software menggambar teknik seperti freecad dan Autocad student version. ROV ini direncanakan menggunakan 6 buah propeler yang digerakkan dengan satu buah motor penggerak bagi masing-masing propeler. Propeler ini dibagi tugas sebagai berikut: 3 buah propeler bertugas untuk menggerakkan ROV secara vertikal dan 2 buah propeler bertugas menggerakkan ROV secara horizontal untuk bergerak maju dan mundur. Semua motor penggerak propeler ini dikendalikan dengan sebuah motor driver dan mikrokontroler. ROV juga direncanakan untuk dikontrol menggunakan sebuah remote. Keseluruhan elemen tersebut lalu akan diintegrasikan menjadi sebuah sistem hardware elektronika.

3. Perancangan Sistem Elektronik

Pada tahap ini dilakukan proses desain dan pembuatan perangkat elektronik pada robot. Meliputi rangkaian regulator, mikrokontroler, motor driver dan sensor.

4. Perancangan Sistem Software

Pada tahap ini software akan memakai software dari arduino untuk mengatur sensor agar dapat menghindari halangan dan membuat robot berjalan secara otomatis.

5. Pengujian Sistem

Pengujian sistem dilakukan dengan tahap-tahap sebagai berikut:

a. Pengujian performa sensor

Pengujian ini dilakukan dengan membaca nilai pengukuran oleh sensor.

b. Pengujian Hardware/Mekanik

Robot ROV akan dicoba untuk menyelam dan bergerak di dalam air.

c. Pengujian software

Pengujian ini dilakukan untuk mengukur keberhasilan software apakah sistem bekerja sesuai dengan yang diharapkan.

d. Pengujian keseluruhan dan pengambilan data

Pengujian ini sekaligus untuk mendapatkan data yang akan ditulis pada buku Tugas Akhir.

6. Penulisan Laporan Tugas Akhir

Setelah dilakukan segala percobaan dan pengambilan data, maka akan dilakukan penulisan laporan tugas akhir yang final.

## **1.6 Sistematika Penulisan**

Sistematika yang dipakai dalam penulisan tugas akhir ini adalah:

### **Bab I. Pendahuluan**

Pada bab ini berisi latar belakang dibuatnya tugas akhir, rumusan masalah, tujuan penulisan tugas akhir, batasan masalah, manfaat penelitian dan sistematika penulisan.

### **Bab II. Tinjauan Pustaka**

Pada bab ini berisi mengenai teori yang mendasari penyusunan laporan tugas akhir secara umum khususnya yang berhubungan dengan sistem kendali dan komponen-komponen robot ROV.

### **Bab III. Perancangan Sistem**

Pada bab ini membahas tentang metode pemilihan komponen robot, perancangan desain, pembuatan mekanik dan elektrik hingga pengujian.

### **Bab IV. Pengujian dan Analisa**

Pada bab ini menguraikan tentang pengujian performa robot dan analisa hasil pengujian.

### **Bab V. Penutup**

Pada bab ini menjelaskan mengenai kesimpulan dari keseluruhan proses penyusunan tugas akhir dan hasil dari perhitungan untuk mengetahui performa robot.

## **1.7 Relevansi dan Manfaat**

Manfaat penelitian pada tugas akhir ini yaitu untuk mendapatkan rancangan ROV yang ringan, aman, efektif dan mudah dioperasikan serta diharapkan memiliki kemampuan untuk memantau nilai pH pada air.

***Halaman ini Sengaja Dikosongkan***

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 *Remotely Operated Vehicle (ROV)***

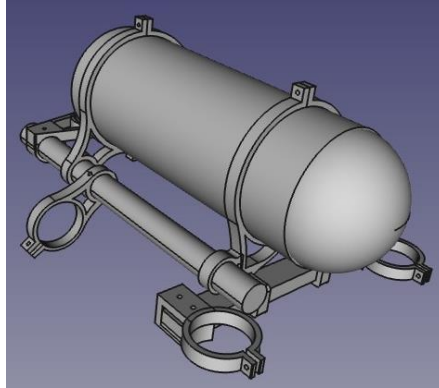
*Remotely Operated Vehicle* secara bahasa yang sederhana dapat diartikan sebagai kendaraan bawah air yang dikendalikan secara jauh dengan sebuah kontroller atau remot. Secara istilah ROV merupakan sebuah robot bawah air yang dapat bergerak secara mobile yang dirancang untuk mengerjakan tugas-tugas di lingkungan bawah air. ROV biasanya dikendalikan dengan remote control melalui kabel serat optik atau kabel jenis lainnya. Seorang user mengendalikan gerak dan sensor yang ada pada robot.

Para insinyur kelautan dan elektronika telah melakukan perancangan dan implementasi terhadap ROV sejak tahun 1950-an untuk tujuan di berbagai bidang, diantaranya di bidang militer, ilmu pengetahuan alam (*science*), dan bidang eksplorasi.<sup>[4]</sup> ROV melakukan beberapa tugas dalam perannya di berbagai bidang tersebut, diantaranya fotografi biota di laut yang dalam, pengangkatan objek-objek yang tenggelam di laut, pengamatan struktur industri minyak dan gas di dalam laut, dan mendeteksi serpihan kapal-kapal laut bersejarah. ROV secara luas digunakan dalam berbagai pilihan karir karena kemampuannya untuk membantu berbagai bidang ilmu pengetahuan seperti science, teknologi, dan engineering.

Sebuah robot ROV setidaknya terdiri dari 3 komponen utama, yaitu kendaraan bawah air, perkabelan, dan pusat kontrol elektrik. Perkabelan pada ROV dibagi menjadi 3 bagian juga, yaitu kabel power, kabel data, dan kabel kontrol. Sistem perkabelan ini dibutuhkan untuk menyediakan data berupa feedback yang realtime kepada operator termasuk gambar visual dari kamera dan data sensor, begitu juga data kontrol untuk ROV. Beberapa UROV mempunyai sumber daya di darat dan disalurkan dengan kabel power, atau batrai sudah terpasang di dalam ROV itu sendiri.

ROV dirancang mempunyai kemampuan untuk melakukan inspeksi, sehingga kemampuan manuever merupakan unsur yang penting. Semakin intuitif sistemnya, maka semakin besar kemampuan manuever-nya. Ada beragam kecenderungan sudut pergerakan (*axis of movement*) pada ROV atau pada umumnya disebut dengan koordinat. Secara virtual, sebagian besar ROV yang diproduksi memiliki setidaknya 4 koordinat untuk menyediakan sebuah ROV dengan kemampuan manuever yang tinggi.

ROV sudah cukup intuitif untuk bergerak dengan sistem kendali 4 koordinat yang dimilikinya ketika proses pengambilan data.



**Gambar 2.1** ROV tampak isometri

ROV secara umum memiliki 3 hingga 6 macam koordinat sebagaimana dijelaskan dalam tabel berikut.

**Tabel 2.1** Notasi Standar Gerak Benda<sup>[6]</sup>

| DOF | Gerak Benda | Momen dan Gaya | Kecepatan Linier dan Angular | Sudut Posisi dan Euler |
|-----|-------------|----------------|------------------------------|------------------------|
| 1   | Surge       | X              | $u$                          | $x$                    |
| 2   | Sway        | Y              | $v$                          | $y$                    |
| 3   | Heave       | Z              | $w$                          | $z$                    |
| 4   | Roll        | K              | $p$                          | $\phi$                 |
| 5   | Pitch       | M              | $q$                          | $\theta$               |
| 6   | Yaw         | N              | $r$                          | $\psi$                 |

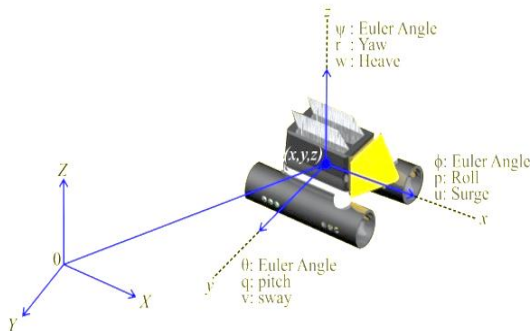
Koordinat merupakan faktor utama dalam menjelaskan gerakan ROV pada enam derajat kebebasan untuk menentukan posisi dan orientasi dalam tiga dimensi ruang dan waktu. Koordinat kebebasan (x, y, z) adalah untuk menentukan posisi dan gerak translasi sepanjang X, Y, Z dan  $\phi$ ,  $\theta$ ,  $\psi$  adalah untuk orientasi dan gerak rotasi. Posisi atau gerak translasi dan orientasi atau gerak rotasi bodi di mana posisi relatif semua titik adalah konstan dapat dijelaskan sehubungan dengan posisi referensi. Sehingga dapat dikatakan bahwa konversi untuk ROV, x-araf positif diambil



sebagai posisi depan, y-arah positif diambil sebagai posisi kanan, z-arah positif adalah diambil sebagai posisi bawah dan berlaku aturan tangan kanan.

ROV dapat dibagi ke dalam berbagai tipe yang bergantung kepada kemampuan dan fungsi tujuan kerjanya. Ada jenis Small Electric Vehicle (SEV), sebuah ROV dengan dimensi mini yang mempunyai kemampuan menyelam dalam kedalaman kurang dari 300 meter. ROV jenis ini biasanya digunakan untuk keperluan inspeksi dan pengamatan pada daerah perairan di pantai.

ROV juga dapat dibagi berdasarkan kemampuan robot untuk bekerja, seperti Tipr Work Class Vehicle (WCV). Robot ROV jenis ini menggunakan listrik dan hidrolik sebagai sumber energinya.<sup>[7]</sup> Sebagian besar robot ROV tipe ini dirancang untuk mendukung pekerjaan pengeboran lepas pantai yang biasa digunakan untuk survey dan rektifikasi pipa gas bawah laut. ROV kelas inspeksi (*inspection-class*) ukurannya agak kecil dan massanya kecil. Tipe ROV ini banyak digunakan untuk survey pekerjaan tes karat (*cathodic protection*) konstruksi platform dan bangunan air lepas pantai.



**Gambar 2.2** Koordinat ROV

Terlihat bahwa pada Gambar 2.2 terdapat penjelasan pergerakan sebuah robot ROV. Pergerakan ROV dapat dilihat dalam 3 subu ( $x$ ,  $y$ ,  $z$ ). Pada sumbu  $x$  terdapat pergerakan tipe surge dan roll. Gerak surge berarti ROV bergerak maju dan mundur searah arah sumbu  $x$  sedangkan gerak roll berarti ROV bergerak rotasi terhadap sumbu  $x$ . Sepanjang sumbu  $y$  ada jenis gerak sway dan gerak pitch. Gerak sway merupakan pergerakan ROV ke samping searah sumbu  $y$  sedangkan gerak pitch merupakan gerak

ROV berotasi terhadap sumbu y. Gerak heave dan yaw adalah jenis pergerakan di sumbu z. Gerak heave merupakan pergerakan ke atas dan ke bawah searah sumbu z dan yaw merupakan jenis gerakan rotasi terhadap sumbu z.

## 2.2 Model Matematik Kinematika ROV

Kinematika merupakan bagian dari dinamika yang mempelajari gerakan suatu benda tanpa memperhatikan gaya-gaya yang menyebabkan gerakan benda. Deskripsi kinematika dari *ROV* didasarkan pada dua macam kerangka acuan, yaitu kerangka acuan badan *ROV* dan kerangka acuan bumi. Untuk menentukan kerangka inersia digunakan kerangka acuan bumi dengan mengasumsikan bahwa bumi adalah datar dan pergerakannya diabaikan. Untuk benda yang bergerak dalam tiga dimensi, variabel-variabel yang digunakan untuk menggambarkan model kinematikanya adalah sebagai berikut:<sup>[8]</sup>

$$\eta_1 = [x \quad y \quad z]^T \quad (2.1)$$

$$\eta_2 = [\phi \quad \theta \quad \psi]^T \quad (2.2)$$

$$v_1 = [u \quad v \quad w]^T \quad (2.3)$$

$$v_2 = [p \quad q \quad r]^T \quad (2.4)$$

$$\tau_1 = [X \quad Y \quad Z]^T \quad (2.5)$$

$$\tau_2 = [K \quad M \quad N]^T \quad (2.6)$$

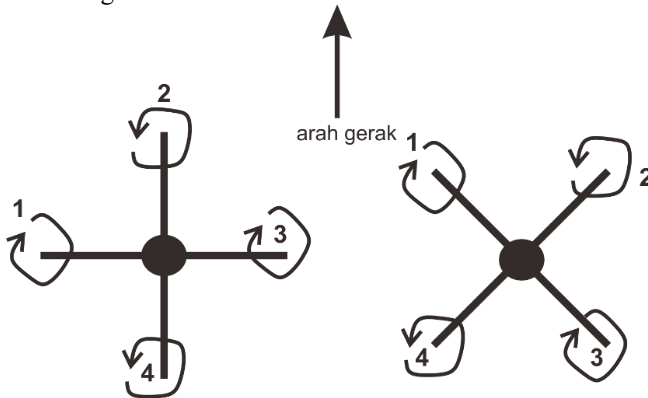
Vektor  $\eta$  merupakan koordinat posisi dan orientasi pada ROV dalam kerangka acuan bumi, sedangkan vektor  $v$  merupakan vektor kecepatan dan  $\tau$  berdasarkan acuan badan ROV yang menunjukkan vektor gaya dan momen yang bekerja pada ROV.

### 2.2.1 Model Dinamika Quadrotor

Dalam perancangan ROV, teori penunjang yang digunakan ialah teori perancangan quadrotor. Quadrotor atau quadcopter merupakan sebuah kendaraan dengan 4 buah motor / thruster, yang mana tiap rotor memiliki kecepatan yang mandiri dan berbeda-beda, sehingga menyebabkan robot untuk berada dalam posisi seimbang (balanced) dan dapat mengarahkan robot untuk bergerak pada arah tertentu dengan percepatan yang dapat diatur. Quadrotor merupakan suatu sistem dengan 6 DoF (Degrees of Freedom), yang berarti bahwa robot dapat bergerak

sepanjang 3 sumbu gerak (x,y,z) dan menggerakkan badan robot pada sudut roll, pitch, dan yaw<sup>[8]</sup>. Dalam perancangan ROV ini, macam gerak yang digunakan ialah roll dan pitch, yang bergerak sepanjang sumbu y dan sumbu x.

Sebuah quadrotor yang tipikal memiliki 4 rotor dengan sudut yang tetap, artinya rotor yang ada tidak bergerak pada sudut-sudut tertentu. Hal ini membuat quadrotor memiliki 4 masukan gaya (input forces) yang disediakan oleh masing-masing rotor. Ada 2 buah konfigurasi pada sebagian besar rancangan quadrotor, yaitu “rancangan +” dan “rancangan x”.

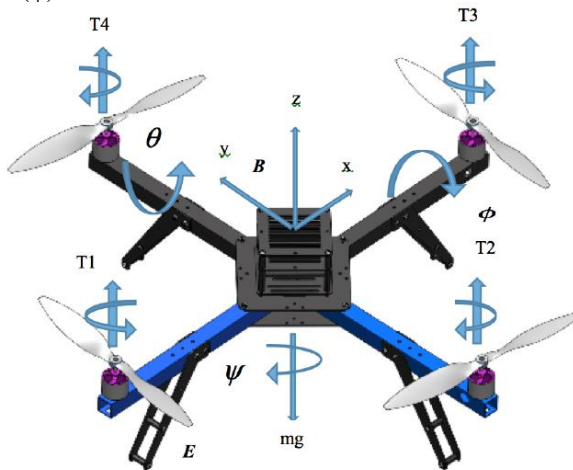


**Gambar 2.3** Konfigurasi + dan konfigurasi x pada quadrotor

Sebuah quadrotor dengan konfigurasi x dinilai dapat bergerak lebih stabil dibandingkan quadrotor dengan konfigurasi +, dikarenakan bentuknya lebih acrobatic<sup>[9]</sup>. Propeller 1 dan 3 bergerak berlawanan dengan arah jarum jam, dan propeller 2 dan 4 bergerak searah dengan arah perputaran jarum jam. Sehingga quadrotor dapat menghasilkan gerak maju (forward) dan sebaliknya dengan menaikkan dan menurunkan kecepatan rotor depan, dan menurunkan kecepatan motor bagian belakang. Dengan mengubah kecepatan rotor bagian depan dan belakang, artinya mengubah sudut gerak pitch quadrotor. Proses ini membutuhkan efek aksi-reaksi yang merupakan bagian dari Hukum Ketiga Newton.

Ada dua sistem referensi yang harus didefinisikan sebagai referensi yang merupakan sistem referensi Inertial (Earth frame- XE, YE, ZE) dan sistem referensi quadrotor (Earth frame- XB, YB, ZB). Frame sistem referensi ditampilkan di Gambar 2.4. Dinamika quadcopter dapat

digambarkan di banyak berbagai cara seperti quaternion, sudut dan arah Euler matriks. Namun dalam perancangan sikap stabilisasi kontrol Referensi pada sudut sumbu sangat dibutuhkan, sehingga pengendali yang dirancang dapat mencapai penerbangan yang stabil. Pada kontrol attitude stabilization, all angle referensi di setiap sumbu harus kira-kira nol terutama saat take-off, landing atau hover. Ini memastikan bahwa, quadcopter tubuh selalu berada dalam keadaan horisontal, bila kekuatan eksternal berada diterapkan di atasnya. Orientasi quadcopter dapat didefinisikan oleh tiga sudut Euler yaitu sudut roll ( $\Phi$ ), sudut pitch ( $\theta$ ) dan sudut yaw ( $\varphi$ ).



**Gambar 2.4** Gaya, momen, dan referensi sistem dalam quadrotor

Dimana  $\omega_1, \omega_2, \omega_3, \omega_4$  adalah kecepatan rotasi masing-masing propeler, T1, T2, T3, T4, adalah gaya yang dihasilkan propeller, m adalah massa quadrotor, mg adalah berat quadrotor dan  $\Phi, \theta, \Psi$  adalah sudut roll, yaw, dan pitch.

Posisi quadcopter didefinisikan dalam inersia bingkai x, y, sumbu z dengan  $\xi$ . Sikap, yaitu posisi sudut, didefinisikan dalam bingkai inersia dengan tiga sudut Euler  $\eta$ . Sudut pitch  $\theta$  menentukan rotasi dari quadcopter sekitar sumbu-y, sudut roll  $\phi$  menentukan rotasi di sekitar sumbu-x dan sudut yaw  $\psi$  di sekitar sumbu-z. Vector q berisi vektor posisi linier dan sudut.<sup>[10]</sup>

### 2.2.2 Persamaan Gerak Quadrotor

Dimisalkan sebuah faktor umum dari proposional  $k$  dan  $F = \sqrt{T}$ , setiap persamaan dari gerakan quadrotor dapat diekspresikan sebagai berikut.<sup>[11]</sup>

$$\phi = k((\omega_1 + \omega_4) - (\omega_2 + \omega_3)) = k\omega_1 - k\omega_2 - k\omega_3 + k\omega_4 \quad (2.7)$$

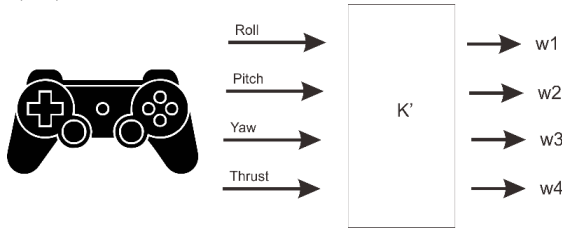
$$\theta = k((\omega_1 + \omega_2) - (\omega_3 + \omega_4)) = k\omega_1 + k\omega_2 - k\omega_3 - k\omega_4 \quad (2.8)$$

$$\psi = k((\omega_1 + \omega_3) - (\omega_2 + \omega_4)) = k\omega_1 - k\omega_2 + k\omega_3 - k\omega_4 \quad (2.9)$$

$$F = k(\omega_1 + \omega_2 + \omega_3 + \omega_4) = k\omega_1 + k\omega_2 + k\omega_3 + k\omega_4 \quad (2.10)$$

Dengan metode matriks, persamaan di atas dapat diselesaikan dan menghasilkan persamaan untuk mengontrol 4 input gaya pada quadrotor. Persamaan untuk mengontrol gaya pada 4 sudut roll, pitch, yaw, dan thrust, dapat ditulis sebagai berikut.

$$\begin{pmatrix} \omega_1 \\ \omega_2 \\ \omega_3 \\ \omega_4 \end{pmatrix} = K^{-1} \cdot \begin{pmatrix} \phi \\ \theta \\ \psi \\ F \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} k & -k & -k & k \\ k & k & -k & -k \\ k & -k & k & -k \\ k & k & k & k \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \phi \\ \theta \\ \psi \\ F \end{pmatrix} \quad (2.11)$$



**Gambar 2.5** Pengontrolan gaya total pada sudut roll, pitch, yaw dan thrust

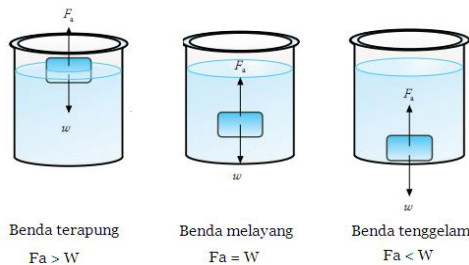
### 2.3 Hukum Archimedes

Hukum Archimedes merupakan salah satu hukum fisika mengenai prinsip pengapungan sebuah benda di atas benda cair yang digagas oleh seorang ilmuwan Yunani bernama Archimedes. Archimedes juga merupakan penemu pompa spiral untuk menaikkan air ke atas yang dikenal dengan istilah Sekrup Archimedes. Hukum Archimedes berhubungan dengan gaya berat dan gaya ke atas sebuah objek ketika

objek tersebut dimasukkan ke dalam air. Berikut sekiranya bunyi hukum Archimedes : *“Jika sebuah benda dicelupkan ke dalam zat cair, maka benda tersebut akan mendapatkan gaya yang disebut sebagai gaya apung (gaya ke atas) sebesar gaya berat zat cair yang dipindahkannya.”*

Hukum Archimedes mengenal 3 keadaan suatu benda di dalam zat cair, yaitu:

1. Tenggelam, yaitu ketika massa jenis benda lebih besar nilainya dibandingkan dengan massa jenis zat cair. Pada kondisi ini benda berada di dasar wadah zat cair.
2. Melayang, yaitu keadaan ketika posisi benda berada di bawah permukaan zat cair dan di atas dasar wadah zat cair. Keadaan melayang terjadi karena massa jenis benda sama dengan massa jenis zat cair.
3. Terapung, merupakan keadaan suatu benda yang berada di permukaan zat cair. Keadaan terapung ini terjadi karena massa jenis benda lebih kecil dibandingkan dengan massa jenis zat cair.



**Gambar 2.6** Ilustrasi hukum Archimedes

## 2.4 Water Quality Index

*Water Quality Index* mengindikasikan kualitas air dalam rentang indeks perangkaan yang merepresentasikan kualitas air secara keseluruhan untuk tujuan tertentu. Hal ini didefinisikan sebagai peringkat yang mencerminkan pengaruh komposit dari parameter kualitas air yang dipertimbangkan dalam perhitungan Indeks Kualitas Air. Indeks ini merupakan cara paling efektif untuk mengkomunikasikan informasi tentang tren kualitas air kepada masyarakat umum, pihak pembuat kebijakan dan manajemen kualitas air.<sup>[13]</sup> Kepentingan relatif berbagai parameter, dalam perumusan indeks kualitas air, tergantung pada penggunaan air yang diinginkan. Sebagian besar penggunaan *Water*

*Quality Index* ini dilakukan dari sudut pandang kesesuaiannya dengan standar konsumsi manusia.

Berikut tabel Indeks Kualitas Air oleh Chatterji dan Raziuddin tahun 2002.

**Tabel 2.2** Indeks Kualitas Air

| Water Quality Index | Water Quality Status         |
|---------------------|------------------------------|
| 0-25                | Sangat Bagus                 |
| 26-50               | Bagus                        |
| 51-75               | Kurang baik                  |
| 76-100              | Kotor                        |
| >100                | Tidak cocok untuk dikonsumsi |

## 2.5 Sistem Kontrol

Fungsi dari sistem kontrol secara umum adalah mengendalikan sistem dengan memanipulasi sinyal *error*, sehingga respon sistem (*output*) sama dengan yang diinginkan. Sistem kontrol dapat dibagi menjadi dua, yaitu sistem kontrol tertutup (*closed loop*) dan sistem kontrol terbuka (*open loop*).

### 2.5.1 Sistem Kontrol Terbuka (*Open Loop*)

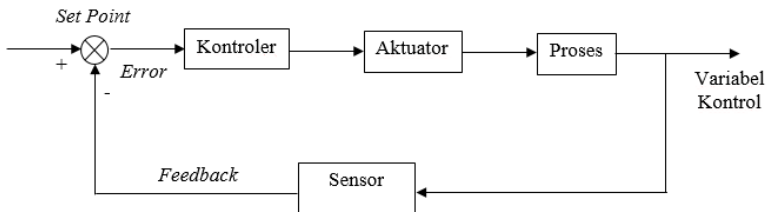
Sistem kontrol terbuka adalah sistem dimana *output*-nya tidak memengaruhi aksi kontrol. Pada sistem ini tidak dilakukan perbandingan antara sinyal *output* dan *input*. Performansi dan akurasi dari aksi kontrol sistem ini tergantung dari kalibrasi sistem. Jika terdapat gangguan maka sistem tidak dapat mengantisipasinya sehingga harus dikalibrasi ulang. Sistem kontrol terbuka dapat digunakan dalam praktek hanya jika hubungan masukan dan keluaran diketahui dan jika tidak terdapat gangguan internal maupun gangguan eksternal. Gambar 2.7 adalah diagram blok sistem kontrol terbuka dimana *Set point* adalah besaran proses variabel yang dikehendaki, *kontroller* adalah elemen yang mengendalikan sebuah proses dan menghasilkan sinyal aktuasi yang dapat menggerakkan aktuator dan diterapkan pada proses sehingga menghasilkan *output*.



**Gambar 2.7** Diagram blok sistem kontrol terbuka

### 2.5.2 *Feedback Kontrol Sistem (Closed Loop)*

Sistem kontrol umpan balik merupakan sistem yang menggunakan hubungan antara *output* dan *input* yang diinginkan dengan cara membandingkannya. Dengan sistem kontrol umpan balik, keberadaan gangguan yang menyebabkan *output* menyimpang dari *input* yang diinginkan dapat diantisipasi.



**Gambar 2.8** Diagram blok sistem kontrol tertutup

Gambar 2.8 adalah diagram blok dari sistem kontrol umpan balik yang banyak digunakan di industri. Pengontrol akan mendeteksi sinyal *error* (deviasi antara *output* dan *setpoint*). Kontroler memproses sinyal *error* dan menghasilkan sinyal aktuasi yang merupakan aksi kontrol sebagai tanggapan dari *error* tadi.<sup>[14]</sup> Aksi kontrol menggerakkan *actuator* dan diterapkan pada *plant/proses* sehingga dihasilkan *output*. Elemen sensor akan melihat atau mengukur hasil *output* dan mengkonversikannya ke variabel yang sesuai dengan *input* referensi. Kedua variabel ini dibandingkan dan menghasilkan sinyal *error*. Interaksi ini akan berlangsung terus sampai didapatkan kondisi bahwa *error* menjadi minimum.

### 2.5.3 *Respon Sistem Kontrol*

Dalam beberapa kasus praktis, karakteristik performansi sistem kontrol dinyatakan dalam domain waktu. Sistem yang mempunyai elemen penyimpanan energi tidak dapat merespon secara seketika dan akan menunjukkan respon transien jika diberi masukan atau gangguan. Karakteristik performansi sistem kontrol ini dinyatakan dalam bentuk respon transien terhadap masukan *unit step*.

Respon transien dalam sistem kontrol praktis sering menunjukkan osilasi teredam sebelum mencapai keadaan stabil. Berikut



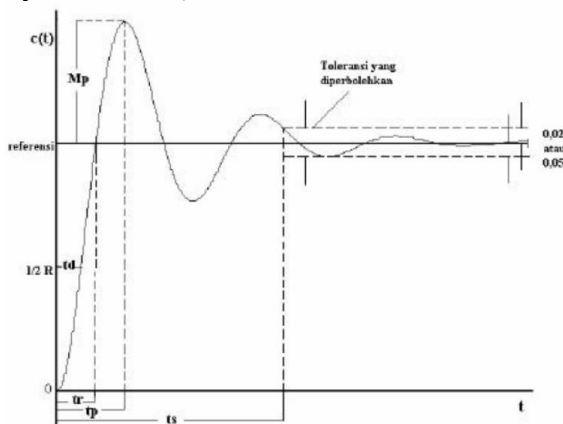
adalah beberapa parameter karakteristik respon transien terhadap masukan *unit step*:

1. *Delay time* ( $t_d$ ) adalah waktu yang diperlukan respon untuk mencapai setengah harga akhir yang pertama kali.
2. *Rise time* ( $t_r$ ) adalah waktu yang diperlukan respon untuk naik dari 10% sampai 90%, 5% sampai 95% atau 0% sampai 100% dari harga akhirnya.
3. *Peak time* ( $t_p$ ) adalah waktu yang diperlukan respon untuk mencapai puncak lewatan yang pertama kali.
4. *Maximum overshoot* ( $M_p$ ) adalah persen harga puncak maksimum dari kurva respon yang diukur dari satu. Jika harga keadaan tunak tidak sama dengan satu, maka biasanya digunakan persen lewatan maksimum yang didefinisikan seperti persamaan 2.12.

$$M_p = \frac{c(t_p) - c(\infty)}{c(\infty)} \times 100\% \quad (2.12)$$

Besarnya (persen) lewatan maksimum secara langsung menunjukkan kestabilan relatif sistem.

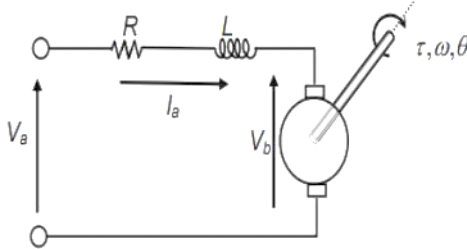
5. *Settling time* ( $t_s$ ) adalah waktu yang diperlukan kurva respon untuk mencapai dan menetap dalam daerah disekitar harga akhir yang ukurannya ditentukan dengan presentase mutlak dari harga akhir (biasanya 2% atau 5%).



**Gambar 2.9** Kurva karakteristik tanggapan sistem terhadap waktu<sup>[15]</sup>

### 2.5.4 Model Matematik Sistem Kontrol Motor DC

Motor DC (direct current) adalah peralatan elektromekanik dasar yang berfungsi untuk mengubah tenaga listrik menjadi tenaga mekanik. Rangkaian ekivalen motor DC dapat ditunjukkan seperti dalam Gambar 2.10.



**Gambar 2.10** Rangkaian ekivalen motor DC<sup>[16]</sup>

Dimana parameter-parameter tersebut adalah  $V_a$  tegangan jangkar,  $I_a$  arus jangkar,  $V_b$  tegangan ggl lawan,  $\omega$  kecepatan putar,  $R$  resistansi jangkar,  $T$  torsi motor,  $L$  induktansi jangkar,  $J$  inersia,  $K_m$  konstanta motor dan  $K_b$  konstanta GGL Lawan.

Sesuai dengan hukum Kirchoff,  $V = I.R$ , atau  $I = V/R$ , dan dengan menggunakan transformasi Laplace, persamaan arus motor ditulis :

$$V_a = L \frac{dI_a}{dt} + RI_a + K_b \omega \quad (2.13)$$

$$I_a(s) = \frac{V_a(s) - sK_b \theta(s)}{R + sL} \quad (2.14)$$

Dengan mensubstitusikan persamaan tersebut ke dalam persamaan umum torsi output motor menggunakan transportasi Lapace maka didapatkan :

$$\tau(t) = K_{tn} I_a(s) \quad (2.15)$$

$$\tau(t) = K_{tn} \frac{V_a(s) - sK_b \theta(s)}{R + sL} \quad (2.16)$$

Dimana  $K_{tn}$  adalah konstanta proporsional torsi motor. Dengan memperhatikan persamaan torsi output motor ditinjau dari pembebanan, maka :

$$\tau(t) = J_{eff} \ddot{\theta}(t) + f_{eff} \dot{\theta}(t) \quad (2.17)$$

Dimana :

$$J_{eff} = J_m + J_l$$

$$f_{eff} = f_m + f_l$$

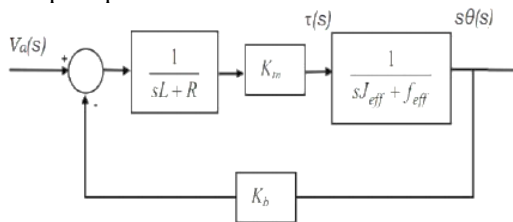
Adapun  $J_m$  adalah momen inersia poros (rotor) motor,  $J_l$  momen inersia beban pada poros motor,  $f_m$  adalah koefisien friksi viscous (*viscous friction*) pada poros (rotor) motor,  $f_l$  adalah koefisien friksi viscous pada beban poros motor, sehingga fungsi transfer (*transfer function*) tegangan armature  $V_a$  terhadap pergerakan sudut poros motor  $\theta$  dapat ditulis :

$$\frac{\theta(s)}{V_a(s)} = \frac{K_{tn}}{s[sRJ_{eff} + Rf_{eff} + K_{tn}K_b]} \quad (2.18)$$

Jika motor menggunakan gearbox dengan rasio  $n$ , maka persamaan di atas dapat ditulis :

$$\frac{\theta(s)}{V_a(s)} = \frac{nK_{tn}}{s[sRJ_{eff} + Rf_{eff} + K_{tn}K_b]} \quad (2.19)$$

Persamaan (2.8) dapat dinyatakan dalam diagram skema diagram blok seperti pada Gambar 2.11.



**Gambar 2.11** Skema diagram blok motor DC<sup>[17]</sup>

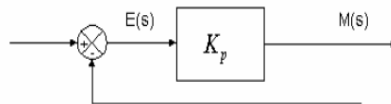
### 2.5.5 Aksi Kontrol

Jika sebuah sistem kontrol adalah stabil dan hanya memerlukan perbaikan respon misalnya mengurangi atau menghilangkan (penyimpangan dalam keadaan mantap) atau memperbesar kecepatan respon maka yang dilakukan adalah penggunaan aksi-aksi kontrol dari jenis P (*proportional*), I (*integral*), atau D (*differential*). Aksi kontrol

dikenal juga dengan sinyal kontrol yang beraksi berdasarkan *error*. Aksi kontrol ini berusaha mereduksi *error*.

#### 2.4.5.1 Aksi Kontrol Proportional (P)

*Proportional* kontrol memberi pengaruh sebanding dengan *error*. Semakin besar *error* maka sinyal kontrol yang dihasilkan semakin besar.



**Gambar 2.12** Diagram blok sistem kontrol *proportional*<sup>[18]</sup>

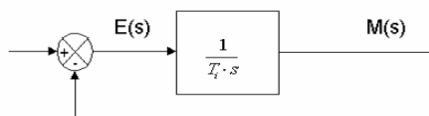
Pada keadaan tunak, keluaran sistem dengan pengendali *proportional* tidak akan sama dengan referensinya. Dengan kata lain pada pengendali *Proportional* masih terdapat *offset* pada keadaan tunak. *Offset* dapat dihilangkan dengan memberikan harga  $K_p$  mendekati tak hingga ( $K_p \hat{=} \infty$ ). Akan tetapi hal ini tidak mungkin terjadi, karena harga  $K_p$  mempunyai batas maksimal tertentu dan jika diberikan suatu harga  $K_p$  melebihi batas maka keluaran akan berosilasi.

Pengaruh kontrol *Proportional* pada suatu sistem, yaitu :

1. Nilai P yang besar dapat mengurangi kestabilan.
2. Memperbaiki *transient respon* khususnya *rise time* dan *settling time*.
3. Mengurangi (bukan menghilangkan) *error steady state*.

#### 2.4.5.2 Aksi Kontrol Integral (I)

*Integral control* memberi pengaruh sesuai dengan perubahan *error*, semakin besar *error* maka semakin besar juga sinyal kontrol yang dihasilkan. Kontrol *Integral* memiliki karakteristik seperti halnya sebuah *Integral*. Keluaran kontroler sangat dipengaruhi oleh perubahan yang sebanding dengan nilai sinyal kesalahan. Keluaran kontroler ini merupakan akumulasi yang terus menerus dari perubahan masukannya.



**Gambar 2.13** Diagram blok sistem kontrol *integral*<sup>[18]</sup>

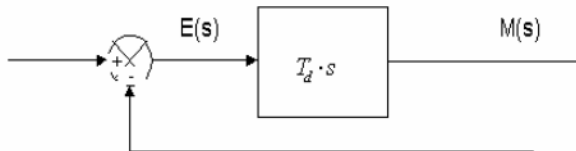
Jika sinyal kesalahan tidak mengalami perubahan, keluaran akan menjaga keadaan seperti sebelum terjadinya perubahan masukan. Sinyal keluaran pengontrol *Integral* merupakan luas bidang yang dibentuk oleh kurva kesalahan penggerak. Sinyal keluaran akan berharga sama dengan harga sebelumnya ketika sinyal kesalahan berharga nol. Konstanta *Integral*  $K_i$  yang berharga besar akan mempercepat hilangnya *offset*. Tetapi semakin besar nilai konstanta  $K_i$  akan mengakibatkan peningkatan osilasi dari sinyal keluaran kontroler. Offset biasanya terjadi pada plant yang tidak mempunyai faktor integrasi  $1/s$ .

Pengaruh pengontrol *Integral* pada suatu sistem, yaitu:

1. Menghilangkan *error steady state*.
2. Dapat memperbaiki *transient respon*.
3. Dapat menambah ketidakstabilan sistem

### 2.4.5.3 Aksi Kontrol Derivative (D)

*Derivative* kontrol memberi pengaruh terhadap besarnya sinyal kontrol yang dihasilkan sebanding dengan perubahan *error*. Semakin cepat *error* berubah, maka semakin besar sinyal kontrol yang dihasilkan. Keluaran kontroler *diferensial* memiliki sifat seperti halnya suatu operasi *Derivative*. Perubahan yang mendadak pada masukan kontroler, akan mengakibatkan perubahan yang sangat besar.



**Gambar 2.14** Diagram blok sistem kontrol *derivative*<sup>[18]</sup>

Kontroler *Derivative* dapat juga disebut sebagai pengendali laju, karena keluaran kontroler sebanding dengan laju perubahan sinyal kesalahan penggerak. Kontroler *Derivative* mempunyai suatu karakter untuk mendahului, sehingga kontroler ini dapat menghasilkan koreksi yang signifikan sebelum pembangkit kesalahan menjadi sangat besar. Jadi kontroler *Derivative* dapat mengantisipasi pembangkit kesalahan, memberikan aksi yang bersifat korektif, dan cenderung meningkatkan stabilitas sistem. Kontroler *Derivative* ini tidak dapat berdiri sendiri, karena kontroler ini hanya aktif pada waktu transien. Pada waktu transien,

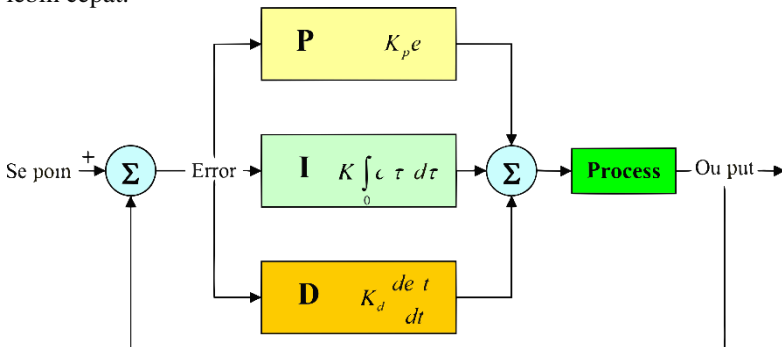
pengendali *Derivative* menyebabkan redaman pada sistem sehingga memperkecil lonjakan (*overshoot*).

Pengaruh kontroler D terhadap suatu sistem, yaitu :

1. Memberikan efek redaman terhadap sistem yang berosilasi.
2. Memperbaiki *transient respon*.
3. Kontroler *Derivative* tidak dapat digunakan sendiri, karena hanya memberikan sinyal kontrol saat terjadi perubahan *error*, sehingga jika ada *error* yang tetap kontroler tidak memberikan aksi.

### 2.5.6 Aksi Kontrol PID

Aksi kontrol dikenal juga dengan sinyal kontrol yang beraksi berdasarkan *error*. Aksi kontrol ini berusaha mereduksi *error*. Kontroler PID merupakan kontroler yang cukup kompleks dengan kombinasi kontroler P, kontroler I, dan kontroler D. Kontroler PID dapat menghilangkan *error steady state* dan membuat respon sistem menjadi lebih cepat.



**Gambar 2.15** Diagram blok PID<sup>[23]</sup>

Pada Gambar 2.15, ada sebuah blok tambahan yang ada setelah scale faktor yang mana mengimbangi parameter aerodynamic dari quadrotor sehingga rancangan controller PID menjadi lebih sederhana. Pada blok diagram ini juga memberikan skala sinyal kontrol menjadi nilai yang kompatibel dengan hardware yang ada. Pada output, ada sebuah blok saturasi sinyal (signal saturation block). Pengatur roll, pitch, dan yaw memiliki arsitektur yang sama dengan perubahan yang sedikit, terutama pada sudut gerak yaw.

## 2.6 Nilai pH

pH atau disebut juga derajat keasaman berfungsi untuk menyatakan tingkat asam atau basa suatu zat, larutan atau benda. pH normal memiliki nilai 7, jika nilai pH kurang dari 7 maka zat tersebut memiliki sifat asam sedangkan jika pH lebih dari 7 maka zat tersebut memiliki sifat basa.<sup>[19]</sup> Nilai 0 pada pH menunjukkan tingkat keasaman tertinggi sedangkan nilai 14 pada pH menunjukkan tingkat basa yang tinggi.

Pada umumnya pengukuran pH secara sederhana menggunakan kertas lakmus yang dapat berubah warna dimana perubahan warna ini menunjukkan nilai pH suatu zat. Nilai pH dapat pula diukur dengan pH meter. pH meter ini bekerja berdasarkan prinsip elektrolit atau konduktivitas suatu larutan.

## 2.7 Bilge Pump

Pada umumnya bilge pump merupakan pompa air yang digunakan untuk menyerap air dalam perahu yang diletakan pada dasar lambung kapal sehingga air yang masuk ke dalam lambung kapal dapat dipompa keluar. Bilge pump mampu bertahan di dalam air karena memiliki pembungkus kedap air.

Bilge pump mengalirkan arus maksimal sebesar 3 ampere dan memiliki tegangan supply sebesar 12 volt. Motor bilge pump memiliki spesifikasi GPH sebesar 1100.



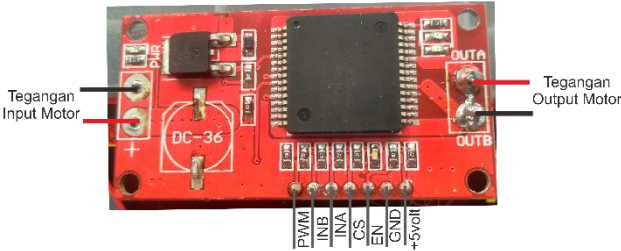
**Gambar 2.16** Motor bilge pump

## 2.8 Motor Driver VNH2sp30

Dalam mengoperasikan motor DC baik arah putaran maupun kecepatan putar diperlukan perangkat yang disebut dengan motor driver.

Satu buah *driver* motor dapat mengontrol 1 buah pwm, dimana masing-masing pwm digunakan untuk mengontrol satu buah motor.

Tegangan maksimal dari *driver* motor tipe ini sebesar 15 Volt. *Driver* ini membutuhkan tegangan input sebesar 2.7-5.5 Volt dan dapat mengalirkan arus sampai 6 Ampere.



**Gambar 2.17** Driver Motor VN12sp30

Pada motor driver VN12SP30 ini, PIN EN merupakan pin *enable* yang diberi tegangan 5 volt atau logika HIGH pada program IDE Arduino. PIN CS merupakan pin untuk sensor arus yang mana pin ini tidak harus terhubung kemana-mana jika memang tidak ada sensor arus. PIN INA dan INB merupakan pin untuk mengataur arah perputaran motor DC. Jika INA diberi logika HIGH dan PIN B diberi logika LOW maka motor akan bergerak *counter-clockwise* (berputar berlawanan arah jarum jam). Apabila INA diberi logika LOW dan INB diberi logika HIGH maka motor DC akan berputar searah jarum jam. PIN PWM merupakan pin Pulse Width Modulation untuk mengatur kecepatan berputar motor. Dalam penggunaan motor driver tipe VN12SP30 ini, berikut spesifikasi modul driver motor tersebut.

**Tabel 2.3** Spesifikasi Motor Driver VN12sp30

| Spesifikasi             | Data                |
|-------------------------|---------------------|
| Tegangan Input Maksimum | 16 Volt DC          |
| Rating Arus Maksimum    | 30 Ampere           |
| Arus Kontinu            | 14 Ampere           |
| MOSFET resistensi       | 19 mili ohm per leg |
| Frekuensi PWM Maksimum  | 20 kHz              |
| Berat                   | 25 gram             |
| Dimensi                 | 53 x 22 mm          |



2.9 Arduino Mega

Arduino adalah suatu kit elektronik ataupun sebuah papan rangkaian elektronik yang di dalamnya terdapat chip mikrokontrol dengan jenis AVR dari perusahaan ATMEL atau ATMEGA yang bersifat 'open source' atau software dari chip tersebut mampu dibuat sendiri dengan kreasi pengguna masing-masing. Chip maupun IC tersebut merupakan chip mikrokontrol yang dapat diprogram sesuai kebutuhan menggunakan komputer dengan bahasa C.

Arduino Mega adalah pengembangan mikrokontroler dengan menggunakan chip ATmega2560. Arduino jenis ini memiliki pin I/O sejumlah 54 buah digital I/O pin (15 pin diantaranya adalah PWM), 16 pin analog input, 4 pin UART (serial port hardware). Arduino Mega juga dilengkapi dengan sebuah oscillator 16 Mhz, sebuah port USB, power jack DC, ICSP header, dan tombol reset. Cara penggunaannya cukup sederhana yakni dengan menghubungkan power dari USB ke PC anda atau melalui adaptor AC/DC ke jack DC.



Gambar 2.18 Arduino Mega

Tabel 2.4 Spesifikasi Arduino Mega

| Spesifikasi                 | Data                                       |
|-----------------------------|--|
| Microcontroller             | ATmega2560                                 |
| Operating Voltage           | 5V   |
| Input Voltage (recommended) | 7-12V                                      |
| Input Voltage (limit)       | 6-20V                                      |
| Digital I/O Pins            | <u>54 (of which 15 provide PWM output)</u> |
| Analog Input Pins           | 16   |
| DC Current per I/O Pin      | 20 mA                                      |
| DC Current for 3.3V Pin     | 50 mA                                      |

|              |   |
|--------------|---|
| Flash Memory | 256 KB of which 8 KB used by bootloader |
| SRAM         | 8 KB                                    |
| EEPROM       | 4 KB                                    |
| Clock Speed  | 16 MHz                                  |
| LED_BUILTIN  | 13                                      |
| Length       | 101.52 mm                               |
| Width        | 53.3 mm                                 |
| Weight       | 37 g                                    |

## 2.10 MPU6050

MPU-6050 Module merupakan sebuah modul dengan inti MPU-6050 dimana terdapat 6 axis Motion Processing Unit dengan penambahan regulator tegangan dan beberapa komponen pelengkap lainnya yang menjadikan modul ini dapat digunakan dengan tegangan supply sebesar 3-5 VDC. Modul ini memiliki interface I2C yang dapat disambungkan secara langsung ke MCU yang mempunyai fasilitas yaitu I2C.

Sensor MPU-6050 terdiri dari sebuah MEMS Accelerometer dan sebuah MEMS Gyro yang saling terintegrasi. Sensor ini sangat akurat dengan fasilitas hardware internal 16 bit ADC untuk setiap kanalnya. Sensor ini akan menangkap nilai kanal axis X, Y dan Z bersamaan dalam satu waktu.



**Gambar 2.19** MPU6050

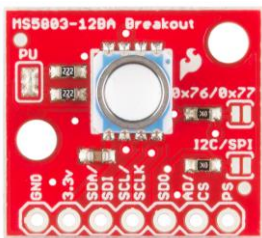
## 2.11 MS5803

MS5803 merupakan sebuah modul (breakout) sensor tekanan air yang memiliki karakteristik berupa membran gel dan tutup stainless steel antimagnetik yang melindungi terhadap tekanan air sebesar 30 bar. Sensor ini dipilih karena memiliki ketelitian sangat tinggi yaitu mencapai

0,2 mbar. Dioptimalkan untuk sistem pengukuran kedalaman dengan resolusi kedalaman air 1 cm bahkan dibawahnya.

Sensor ini dilengkapi dengan 2 buah jalur komunikasi yaitu I2C dan SPI. Pin konfigurasi terdiri dari GND dan 3.3V untuk power, SDA / SDI dan SCL / SCLK untuk antarmuka I2C dan SD0, AD / CS, dan PS untuk antarmuka SPI.

Sensor ini juga dapat mendeteksi perubahan suhu dengan tingkat presisi yang tinggi seperti termometer digital. Sensor ini bekerja pada rentang 0 mbar – 14 bar dengan data kalibrasi dari pabrik sebesar 1000,5 mbar pada suhu 20,5°C.



Gambar 2.20 MS5803

Dalam penggunaannya, sensor tekanan MS5803 dari Sparkfun memiliki spesifikasi sebagaimana pada tabel berikut.

Tabel 2.5 Spesifikasi MS5803

| Spesifikasi           | Data                            |
|-----------------------|---------------------------------|
| Tegangan Operasi      | 1,8 – 3,6 volts                 |
| Suplai Arus Tertinggi | 1,4 mA                          |
| Range Operasi         | 0 – 14 bars                     |
| Resolusi              | 1/0,6/0,4/0,3/0,2 milibar       |
| Interface             | I2C atau SPI                    |
| Fitur Tambahan        | Pelindung Jelly (Gel Protected) |

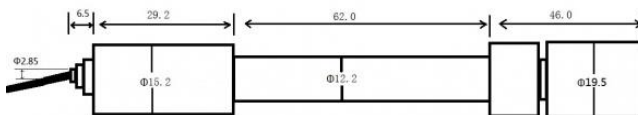
Sensor tekanan MS5803 dilengkapi dengan proteksi Jelly yang membuat sensor tempat pembacaan nilai tekanan memiliki kemampuan tahan air (waterproof). Proteksi Jelly dan anti magnetic *stainless-steel cap* melindungi sensor hingga tekanan 30 bar di dalam air. Pembacaan sensor ini berbentuk 24-bit nilai tekanan dan suhu serta model operasi yang membolehkan user untuk mengoptimasi penggunaan sensor dengan cara mengatur nilai kecepatan konversi dan komsumsi arus.

## 2.12 Sensor pH

Dalam perancangan Tugas Akhir ini, sensor pH yang digunakan adalah sensor pH dari dfrobot yakni PH Meter (SKU: SEN0161). Sensor pH berfungsi untuk mengubah besaran non elektrik yakni derajat keasaman (pH) menjadi besaran elektrik berupa tegangan. Sensor pH ini terdiri dari sebuah modul sensor pH, PH2.0 sensor interface dan sebuah konektor tipe BNC. Dalam menggunakan sensor ini, cukup sambungkan modul sensor pH dengan PH2.0 interface dan sambungkan ke pin analog pada arduino. Data yang diambil dari sensor ini yaitu data analog tegangan. Jika tegangan yang ditangkap sensor bernilai kecil, maka cairannya memiliki pH yang rendah dan sebaliknya. Data analog yang didapatkan lalu dikalibrasi agar mendapatkan nilai pH yang paling mendekati.



**Gambar 2.21** Sensor pH - PH Meter (SKU:SEN0161)



**Gambar 2.22** Dimensi PH2.0 Interface

**Tabel 2.6** Spesifikasi sensor pH - PH Meter (SKU:SEN0161)

| Spesifikasi                   | Data                           |
|-------------------------------|--------------------------------|
| Besar Daya Suplai             | +5.00 Volt                     |
| Ukuran Modul                  | 43 mm x 32 mm                  |
| Range Pengukuran              | 0-14                           |
| Suhu Pengukuran               | 0-60°C                         |
| Akurasi                       | ± 0.1pH (pada suhu 25°C)       |
| Waktu Respon                  | ± 1 menit                      |
| Tipe Konektor                 | Konektor BNC                   |
| Sensor pH                     | PH2.0 Interface (3 foot patch) |
| Gain Adjustment Potensiometer | Ada                            |
| Indikator LED                 | Ada                            |
| Panjang Kabel                 | 660 mm                         |

Dalam penggunaan sensor pH ini, keakurasian hasil pembacaan harus dijaga. Ketika proses kalibrasi, gunakanlah cairan dengan pH yang sudah pas, seperti cairan aquades dengan nilai pH 7 atau menggunakan cairan buffer dengan pH 4,0 dan pH 10,0. Proses kalibrasi pun harus dilakukan secara rutin agar keakurasian pembacaan sensor tetap terjaga. Pada umumnya, masa kalibrasi ulang setiap 1 kali 6 bulan. Jika sensor digunakan pada perairan yang lebih kotor, disarankan untuk melakukan kalibrasi sensor dengan frekuensi yang lebih tinggi.

Hasil keluaran dari sensor pH ialah nilai tegangan dalam satuan milivolts dan nilai tegangannya mempunyai hubungan dengan nilai pH. Berikut tabel hubungan pembacaan nilai tegangan dan pH.

**Tabel 2.7** Hubungan Nilai Tegangan dan pH

| Tegangan (mVolt) | Nilai pH | Tegangan (mVolt) | Nilai pH |
|------------------|----------|------------------|----------|
| 414,12           | 0,00     | -414,12          | 14,00    |
| 354,96           | 1,00     | -354,96          | 13,00    |
| 295,80           | 2,00     | -295,80          | 12,00    |
| 236,64           | 3,00     | -236,64          | 11,00    |
| 177,48           | 4,00     | -177,48          | 10,00    |
| 118,32           | 5,00     | -118,32          | 9,00     |
| 59,16            | 6,00     | -59,16           | 8,00     |
| 0,00             | 7,00     | 0,00             | 7,00     |

### 2.13 Kontroler PS2

Dalam perancangan Tugas Akhir ini digunakan kontroler PS2 sebagai antarmuka pengguna utama untuk ROV. Standar kontroler PS2 memiliki 14 tombol dimana meskipun masing-masing tombol dapat dikonfigurasi untuk melakukan perintah tertentu, pada dasarnya prinsip yang bekerja pada tombol-tombol tersebut tetap sama yakni setiap tombol adalah sebuah saklar yang terintegrasi dengan rangkaian ketika ditekan.

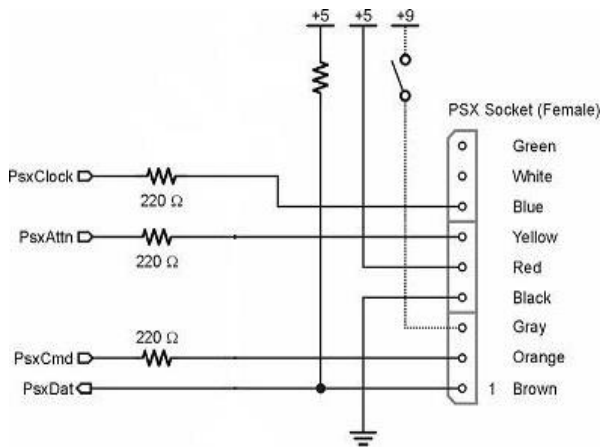
Kontroler PS2 memiliki tombol analog yang bekerja dengan cara dua potensiometer (variable resistor) yang diposisikan tegak lurus satu sama lain di bawah tombol. Arus mengalir terus menerus dengan jumlah yang ditentukan oleh jumlah hambatan.<sup>[20]</sup> Jumlah hambatan ditentukan berdasarkan posisi tombol. Hal ini memungkinkan output dari setiap potensiometer dapat termonitor sehingga kontroler PS2 dapat menentukan sudut yang tepat dimana tombol ditahan serta memicu respon yang tepat berdasarkan sudut tersebut.



Tombol Analog

**Gambar 2.23** Kontroler PS2

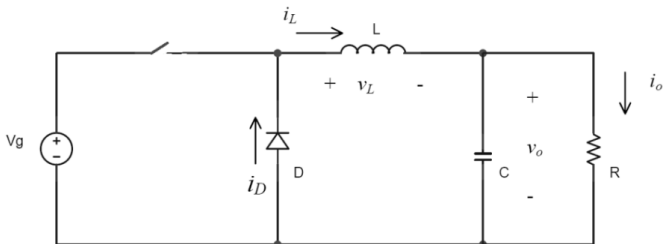
Kontroler PS2 terdiri dari dua model yaitu modul *transmitter* dan modul *receiver*. Modul *transmitter* berfungsi sebagai data input dan mengirim data input tersebut ke modul *receiver*. Sedangkan modul *receiver* berfungsi sebagai penerima data yang dikirim dari modul *transmitter*.



**Gambar 2.24** Skematik kontroler PS2

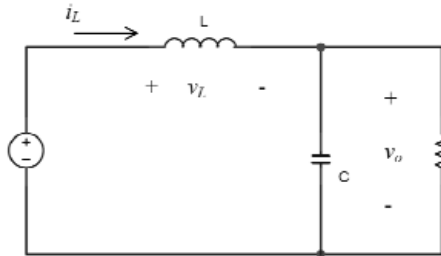
## 2.14 Buck Konverter DC-DC

Buck converter adalah salah satu jenis converter DC-DC yang berfungsi untuk menurunkan tegangan DC. Prinsip kerja rangkaian ini adalah kendali pensaklaran dengan komponen utama yakni dioda, induktor, kapasitor dan penyaklar yang dapat berupa transistor atau mosfet. Buck converter dapat disebut juga sebagai down converter karena nilai tegangan keluaran selalu lebih kecil dari nilai inputnya.



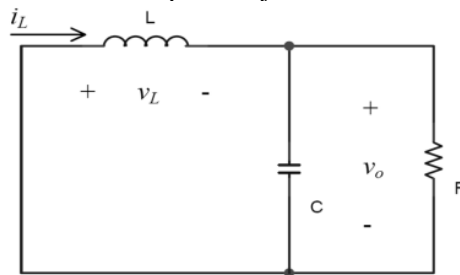
**Gambar 2.25** Rangkaian Buck Konverter<sup>[21]</sup>

Kondisi saklar yang terbuka dan tertutup ditunjukkan oleh isyarat PWM. Pada saat saklar terhubung atau tertutup, maka induktor, kapasitor dan beban akan terhubung dengan sumber tegangan. Kondisi ini disebut dengan keadaan ON (ON state) dimana dioda akan reserve bias. Hal ini dapat ditunjukkan oleh Gambar 2.26.



**Gambar 2.26** Keadaan ON<sup>[21]</sup>

Sedangkan pada saat saklar terbuka, maka induktor, kapasitor dan beban akan terisolasi dari sumber tegangan. Kondisi ini disebut dengan keadaan OFF (OFF state) dimana dioda akan menyediakan jalur untuk arus induktor. Hal ini dapat ditunjukkan oleh Gambar 2.27.



**Gambar 2.27** Keadaan OFF<sup>[21]</sup>

Buck converter dapat disebut juga sebagai down converter karena nilai tegangan keluaran selalu lebih kecil dari nilai inputnya. Nilai tegangan keluaran buck converter juga sebanding dengan nilai duty cycle sehingga untuk memperoleh nilai tegangan keluaran yang bervariasi maka mengubah nilai duty cycle.

## 2.15 Baterai Lithium Polymer

Baterai Lithium Polymer (selanjutnya disebut baterai "LiPo"), adalah jenis baterai yang lebih baru yang sekarang digunakan di banyak perangkat elektronik konsumen. Mereka telah mulai populer di industri kontrol radio selama beberapa tahun terakhir, dan sekarang menjadi pilihan paling populer bagi orang yang mencari baterai dengan daya tahan yang lama dan memiliki kekuatan tinggi.



Baterai LiPo menawarkan beragam manfaat. Tapi setiap pengguna harus memutuskan apakah manfaatnya lebih besar daripada kekurangannya. Untuk lebih dan lebih banyak orang, mereka dapat melakukannya dan diandalkan. Menurut pendapat pribadi saya, tidak ada yang perlu ditakutkan dari baterai LiPo, asalkan Anda mengikuti peraturan dan memperlakukan baterai dengan rasa hormat yang pantas mereka dapatkan. Dalam perkembangannya, baterai LiPo sering disandingkan dengan baterai tipe NiMH. Berikut perbandingan keunggulan dan kekurangan antara baterai jenis LiPo dan NiMH.

**Tabel 2.8** Perbandingan baterai LiPo dengan baterai NiMH<sup>[13]</sup>

| <b>Keunggulan</b>   | <b>Kekurangan</b>   |
|---|---|
| <b>Baterai LiPo</b>   |   |
| Bobotnya jauh lebih ringan, dan dapat dibuat dalam ukuran atau bentuk apapun.                 | Umur yang jauh lebih pendek; Masa pakai LiPo rata-rata hanya 150-250 siklus.        |
| Kapasitasnya jauh lebih tinggi, memungkinkan mereka memegang lebih banyak tenaga.             | Bahan kimia yang sensitif dapat menyebabkan kebakaran jika baterai tertusuk.        |
| Tingkat debit yang jauh lebih tinggi, artinya mereka mengemas lebih banyak daya listrik.      | Perlu perawatan khusus untuk pengisian, pemakaian, dan penyimpanan.                 |
| <b>Baterai NiMH</b>   |   |
| Masa pakai lebih lama dari dibandingkan dengan batrai LiPo, biasanya ke kisaran 1.000 siklus. | Jauh lebih berat, dan terbatas ukurannya.   |
| Jauh lebih sensitif, dan biasanya tidak menimbulkan risiko kebakaran.                         | Kapasitas rata-rata lebih rendah, dan kurang efisien secara keseluruhan.            |
| Pengisi daya dan rutinitas yang lebih sederhana yang diperlukan untuk penggunaan.             | Tingkat pelepasan yang lebih rendah; mereka tidak memiliki pukulan yang luar biasa. |



**Gambar 2.28** Baterai LiPo

Sel LiPo memiliki tegangan nominal 3.7V. Untuk baterai 7.4V di atas, itu berarti ada dua sel secara seri (yang berarti tegangan akan ditambahkan bersamaan). Ini kadang kala mengapa Anda akan mendengar orang membicarakan paket baterai "2S" - artinya ada 2 sel di Seri. Jadi paket dua sel (2S) adalah 7.4V, paket tiga sel (3S) adalah 11.1V, dan seterusnya.

Tegangan nominal bernilai default, tegangan resting (keadaan tidak dipakai) dari kemasan baterai. Inilah cara industri baterai memutuskan untuk membahas dan membandingkan baterai. Namun, tidak dengan tegangan muatan penuh sel. Baterai LiPo terisi penuh saat mencapai 4.2v / sel, dan tegangan aman minimum mereka, seperti yang akan kita diskusikan secara rinci nanti, adalah 3.0v / sel. 3.7v cukup banyak di tengah, dan itu adalah muatan nominal sel.



**Gambar 2.29** Tumpukan sel baterai LiPo<sup>[13]</sup>

Hampir setiap sel baterai RC LiPo dikemas dalam kantong, kebetulan disebut sel kantong. Gambar di sebelah kanan menunjukkan kedua sel kantong tunggal, bersama dengan tiga sel digabungkan untuk membuat paket baterai LiPo RC 3 sel khas (3S).

Sel kantong adalah solusi sempurna untuk membangun paket baterai berserba banyak karena sel kantong datar dapat ditumpuk tanpa ruang udara yang terbuang seperti yang ditemukan di dalam kemasan baterai sel berbentuk bulat. Tentu saja karena LiPo menggunakan kantong ringan ini dan bukan kaleng logam, beratnya yang lebih sedikit adalah hasil yang membuat LiPo menjadi pilihan pilihan Li-Ion dalam aplikasi sadar berat seperti pesawat RC.

Sel kantong ini juga memungkinkan untuk ekspansi termal lebih dan bahkan di luar gas karena kantong fleksibel di atas logam dapat menyebabkan sebagian besar sel Li-Ion dienkapsulasi, jadi mereka juga dapat dianggap sebagai fitur keselamatan sampai batas tertentu.

## 2.16 Tinjauan Pustaka

Dalam subbab Tinjauan Pustaka dibahas *literature review* dari beberapa makalah acuan dalam pembuatan tugas akhir, dan juga sedikit membahas perbandingan perangkat teknologi yang telah ada dengan perangkat teknologi yang akan dirancang. Tinjauan pustaka dalam tugas akhir ini termasuk di dalamnya ialah *underwater rov*, *enviromental monitoring*, dan *underwater sensor*.

Franco Hidalgo, Jose Mendoza and Francisco Cuéllar (2015). *ROV-based acquisition system for water quality measuring*.<sup>[24]</sup> Makalah ini menyajikan desain dan implementasi sistem akuisisi berbasis ROV yang dirancang untuk pemantauan kualitas air melalui akuisisi parameter oseanografi sumber air di negara Peru seperti sungai, danau dan samudera. Platform robot mengintegrasikan video kamera, probe multi parameter untuk analisis kualitas air dan sebuah array dari tiga hidrofons untuk mengukur *noise* yang ada di bawah air. Fleksibilitas kendaraan bawah laut dimanfaatkan dengan cara memusatkan akuisisi data dan melakukan penebangan tunggal secara fleksibel. Prototipe yang disajikan dikembangkan untuk digunakan sebagai sebuah *platform* penelitian dan sebagai alat ukur untuk Institut Laut Peru (IMARPE - Instituto del Mar del Perú) untuk memperluas kemampuannya pada parameter oseanografi pemantauan. Hasil awal hidrofons ROV dan Multi-parameter probe disajikan dan dibahas dalam paper ini. Kendaraan bawah laut dan robot seperti ROVs (*Remotely Operated Vehicle*), AUVs (*Autonomous*

*Underwater Vehicle*) dan *glider* telah menjadi *platform* robot yang populer dalam analisis oseanografi dan lingkungan karena kemampuan melakukan operasi jangka panjang, mengakuisisi data geo-referensi dan manuver navigasi. Ini survei akan memungkinkan evaluasi status lingkungan wilayah laut yang sulit diakses manusia. Polusi air seperti di sungai, danau dan lautan dihasilkan oleh kegiatan antropogenik dan industri melalui padat, limbah kimia dan kebisingan bawah laut. Umum Sensor bawah air untuk mengevaluasi skenario ini meliputi sensor pencitraan, multi-parameter probe dan akustik sensor. Sensor imaging seperti kamera dan side scan sonar digunakan untuk inspeksi dan pemetaan visual. Probe bawah air berisi serangkaian sensor untuk pengukuran sifat fisik dan kimia untuk mengevaluasi kualitas lingkungan dalam hal polutan dan kondisi untuk kelestarian hidup kelautan Akhirnya, ukuran hidrofon kebisingan bawah laut seperti yang dihasilkan untuk mesin, bahan peledak dan penggunaan senapan udara dalam inspeksi seismik itu kebanyakan mempengaruhi mamalia laut.

Kanae Komaki, Kei Okamura, Kei Okamura, Takuroh Noguchi (2014). *Development and application of chemical sensors mounting on underwater vehicles to detect hydrothermal plumes.*<sup>[25]</sup> Makalah ini memperkenalkan sensor pH yang diberi nama pH-12, ORP sensor bernama ORP-12, auto multi-air samplers bernama MINIMONE dan ANEMONE, dan aplikasinya contoh di perairan nyata Mereka telah dikembangkan untuk tujuan melampirkan AUVs dan ROVs oleh tim peneliti kami, dan Mereka mengkhususkan diri untuk mendeteksi sinyal plum hidrotermal. Di Agar dapat me-mount pada AUVs / ROVs, sensor dan sampler ini dirancang sekecil dan sesedikit mungkin. Selama bertahun-tahun antara tahun 2008 dan 2012, kami menerapkan instrumen baru ini. Ekspedisi ROV di 6 kapal pesiar di dalam Arc Kembali Izu-Ogasawara dan Okinawa Trough, dan menemukan dua lubang hidrotermal baru situs. Sebagai pelengkap, makalah ini menunjukkan sebuah metodologi baru mendeteksi plum hidrotermal secara akustik dengan menggunakan akustik Doppler saat ini profiler. Kami menguji metode ini dengan AUV dalam Izu-Ogasawara Back Arc dan Okinawa Trough di musim panas 2014, dan memperoleh amplitudo gema tinggi ADCP yang sesuai dengan sinyal sensor kimia. Air laut dari ventilasi hidrotermal menyebar dengan komponen geokimia, membentuk butiran hidrotermal. Untuk menyelidiki lingkungan hidrotermal, yang berada di atas topografi dasar laut yang kompleks pada kedalaman yang besar, kendaraan bawah laut otonom (AUV) dan kendaraan bawah laut yang

dioperasikan dari jarak jauh (ROVs) adalah salah satu platform yang paling efektif. Mereka bisa mendekati sangat dekat dengan medan ventilasi, membawa berbagai jenis sensor kimia. Sedangkan pada perancangan Tugas Akhir ini, sensor yang digunakan dalam air ialah hanya sensor pH keluaran pabrik *dfrobot* dengan tipe SKU: SEN01661.

Mustafa Shakir, Mahmood Ashraf Khan, Shahzad A. Malik and Izhar-ul-Haq (2012). *Design of Underwater Sensor Networks for Water Quality Monitoring*.<sup>[26]</sup> Makalah ini menjelaskan tentang keterbatasan bandwidth dan penundaan propagasi besar yang dialami pada jaringan sensor bawah air, tantangan dan persyaratan perencanaan berbeda dibandingkan dengan rekan terestrial mereka. Jaringan sensor bawah air dapat digunakan untuk keperluan industri dan ilmiah seperti pemantauan polusi. Perancangan dan pengerjaan jaringan sensor bawah air untuk pemantauan kualitas air disajikan dalam pekerjaan kami dimana data monitoring node dan sistem pemantauan merupakan komponen utama. Sistem ini berlaku untuk skenario perairan dangkal. Parameter seperti pH dan suhu telah dipantau menggunakan jaringan yang kami gunakan. Kami melewati aspek perangkat keras dari node bersamaan dengan pengembangan strategi komunikasi dan komunikasi. Setiap node memiliki pemancar untuk mengumpulkan suhu dan pH dari sensor dan bagian lainnya adalah modul pemrosesan, modul penginderaan, modul daya dan bagian frekuensi radio ZigBee. Parameter lingkungan air akan dipantau di data center melalui gateway GPRS. Jaringan kami dikembangkan juga akan memberikan aspek yang sesuai untuk diadopsi oleh organisasi pemantauan lingkungan. Dalam tugas akhir ini, dalam pemantauan kualitas air hanya memantau nilai pH saja, sedangkan parameter lain tidak digunakan dalam perancangan tugas akhir ini.

Antonio Vasiljević, Đula Nađ, Filip Mandić, Nikola Mišković, and Zoran Vukić (2017). *Coordinated Navigation of Surface and Underwater Marine Robotic Vehicles for Ocean Sampling and Environmental Monitoring*.<sup>[27]</sup> Polusi air yang dihasilkan oleh tumpahan materi berbahaya secara tidak disengaja adalah masalah yang berkembang di seluruh dunia. Ada kebutuhan mendesak akan alat yang akan membantu tim respons lingkungan melakukan pemahaman lokasi dengan cepat dan tingkat tumpahannya secara efektif membuat respons yang tepat. Makalah ini menyajikan sistem robot kooperatif untuk pemantauan lingkungan yang terdiri dari kendaraan bawah laut otonom (AUV) dan kendaraan permukaan tak berawak otonom (USV). Kontribusi utama makalah ini adalah deskripsi sistematis tentang perancangan dan

implementasi sistem robot kooperatif yang diusulkan, pendekatan human-on-the-loop (HOTL) baru yang diterapkan pada sistem untuk environmental-monitoring, dan demonstrasi hasil percobaan tentang polusi yang sengaja disebabkan oleh pelacakan air pada lautan terbuka Rhodamine yang tidak berbahaya (WT), dilakukan di Cartagena, Spanyol, pada bulan Juni 2015. Sistem HOTL yang diusulkan menyediakan data pengukuran polusi real-time yang dekat, walaupun tidak menghabiskan banyak waktu dan tenaga manusia. Ini mendukung pengambilan keputusan dan memungkinkan operator untuk memulai misi yang paling memadai dalam situasi saat ini, yaitu memastikan perubahan misi on-the-fly. Sementara sampel AUV di lautan, USV mempertahankan transfer data lokalisasi dan komunikasi ke pusat kendali dan mengoreksi kesalahan penghitungan AUV yang telah mati. Tugas akhir ini hanya menggunakan robot ROV tanpa ada bantuan robot UAV, dengan sistem komunikasi menggunakan kabel ke port TX/RX yang menyambung ke port arduino dan serial monitor.

Ryan Kastner, Albert Liny, Curt Schurgersy, Jules Jaffez, Peter Franksz, and Brent S. Stewartx (2015). *Sensor Platforms for Multimodal Underwater Monitoring*.<sup>[28]</sup> Makalah ini menjelaskan tentang lingkungan laut bawah laut dan ekosistem karena beberapa faktor. Salah satu faktor penting adalah ketidakmampuan umum untuk mengamati dan memantau ruang laut bawah permukaan yang besar ini. Meskipun kemajuan yang signifikan dalam teknologi sensor, komunikasi dan komputasi, platform sensor bawah air umumnya lebih rendah daripada satelit terestrial mereka. Disini kami menyoroti beberapa platform sensor yang saat ini sedang digunakan dan dikembangkan untuk aplikasi pemantauan bawah laut. Kami fokus pada dua aplikasi pemantauan: 1) pengamatan ikan hiu paus (*Rhincodon typus*); dan 2) pengangkutan, akumulasi dan penyebaran plankton. Dalam kedua kasus tersebut, kami menjelaskan perlunya platform sensor bawah laut multimodal untuk bekerja dalam mode cyber-fisik, mengkomunikasikan berbagai data sensor yang berbeda di antara mereka secara sistematis untuk memaksimalkan perolehan data. Kami berpikir bahwa ini akan secara substansial meningkatkan pemahaman ekosistem bawah laut. Komunitas penelitian air dengan cepat melengkapi situs ekologis dengan berbagai sensor dan instrumen perekaman data. Sistem penginderaan tingkat lanjut memfasilitasi percobaan skala besar dan real-time dan pemantauan proses ekosistem yang kompleks. Dasar untuk upaya ini adalah rangkaian observasi lingkungan yang luas mulai dari faktor lingkungan dasar (misalnya, suhu air, kadar garam dan variabel

bio-optik) hingga pengukuran yang lebih kompleks (misalnya, konsentrasi nutrisi dan ukuran lain dari status dan vitalitas ekosistem laut). Pemantauan bawah air dibebani oleh kesulitan yang signifikan, terutama oleh tantangan teknologi sensor kemasan untuk melawan intrusi air asin dan tekanan hidrostatik dan menerapkannya di lingkungan perairan yang dinamis. Meskipun penyebaran beberapa platform sensor telah sangat meningkatkan pengamatan laut, mereka memiliki ruang yang signifikan untuk perbaikan. Secara khusus, sensor individu biasanya bekerja dalam isolasi. Mereka mencatat data ke penyimpanan lokal, dan data tersebut sering hanya diambil setelah pemantauan selesai. Cara yang jauh lebih hebat untuk memanfaatkan platform ini adalah menutup lingkaran, dan bekerja dengan cara fisik maya yang nyata di mana sistem platform sensor multimodal belajar dari dan menyesuaikan semua data sensor secara real-time.

Andrea Caiti, Francesco Di Coratoy, Davide Fenucci, Simone Grech, Manuel Noviz, Francesco Pacin, Giacomo Paoli (2014). *The Project V-Fides: a new generation AUV for deep underwater exploration, operation and monitoring*.<sup>[29]</sup> Pekerjaan yang diusulkan dalam makalah ini ada dalam kerangka proyek VFides, yang bertujuan untuk mengembangkan generasi baru dari Kendaraan Arus Otonomi yang lincah, over-actuated, untuk eksplorasi, operasi dan pemantauan bawah laut yang dalam. Proyek ini didanai bersama oleh Tuscany Region (Italia) dan dikembangkan oleh tim yang dipimpin oleh WASS SpA (Whitehead Sistemi Subacquei, Livorno) dengan partisipasi beberapa mitra termasuk dua lembaga penelitian Universitas Pisa dan Usaha Kecil Menengah di daerah Pisa-Livorno. Kendaraan ini merupakan tujuan umum, kedalaman 3000m diberi rating kendaraan bawah laut dengan kemampuan manuver yang sangat manuver, yang bisa beroperasi baik sebagai AUV dan ROV. Kendaraan dilengkapi dengan tujuh pendorong, dengan karakteristik input-output asimetris, dan dengan muatan sensor untuk navigasi otonom, disusun oleh: Unit Pengukuran Inertial Taktis (IMU), Velocity Logger Doppler (DVL), sensor kedalaman, kompas magnetik dan modem akustik untuk komunikasi bawah air dan lokalisasi. Kontribusi ini memberikan gambaran umum arsitektur umum yang dikembangkan dari modul navigasi dan kontrol kendaraan, dari titik implementasi algoritmik dan implementasi sistem. Selama beberapa tahun terakhir, robot air bawah laut, dan khususnya Otonom Kendaraan Bawah Air (AUV) telah menerima dorongan besar karena teknologi terbaru yang tersedia dan minat yang berkembang dari pusat penelitian

dan industri ilmiah. Salah satu tren penelitian terkini yang paling menarik di bidang AUV adalah pertumbuhan desain khusus untuk kendaraan berbiaya kecil dan berbiaya rendah. AUV saat ini merupakan vektor sensor dan peralatan mendasar untuk mengumpulkan informasi berharga tentang dasar laut dan situs bawah laut yang tidak dapat diakses. Ketelitian, ketahanan dan kehandalan menjadi aspek fundamental bagi kendaraan kelas ini. Makalah ini menyajikan ikhtisar arsitektur umum yang dikembangkan dari modul Navigasi dan Kontrol kendaraan VFides, dari titik implementasi algoritmik dan implementasi sistem. Meskipun bisa ada solusi yang berbeda berdasarkan sistem yang lebih kompleks dan canggih yang dapat mengungguli yang diusulkan, juga terbukti bahwa solusi filter Kalman tidak langsung bersama dengan pengendali PID klasik dan sistem alokasi kontrol MILP yang ringan dapat menjadi pilihan industri yang layak terhadap operasi AUV yang andal. Simulasi dan beberapa hasil uji coba eksperimental karakterisasi pendorong, pengecekan sensor dan alokasi pendorong pada air dangkal disajikan.

Adel Khadhraoui, Lotfi Beji, Samir Otmame, Azgal Abichou (2015). *Stabilizing control based observer for a remotely operated vehicle (ROV – Observer)*.<sup>[30]</sup> Masalah stabilisasi kendaraan yang dioperasikan dari jarak jauh, yang dikenal sebagai ROV-Observer untuk observasi situs sejarah sub-laut, dibahas dalam makalah ini. Untuk keberhasilan tugas ini, bagian pertama dari penelitian kami terdiri untuk mengurangi kompleksitas model dinamis total, oleh karena itu, rumusan yang ketat untuk tujuan pengendalian. Kecepatan lonjakan konstan sebagai bagian dari ekuilibrium dipertimbangkan, dan di sekitar vektor keadaan ini, model dinamik kino ditangani. Karena hanya posisi yang tersedia, tujuan pengendalian yang stabil mengintegrasikan model pengamatan ke kecepatan lokal dan global ROV. Kami membuktikan bahwa ROV asimtotik stabil pada ekuilibrium. Efektivitas hasil ini ditunjukkan dalam simulasi. Di dalam makalah ini, tidak terdapat pembahasan mengenai kontrol kedalaman. Perbedaan pada makalah ini dengan tugas akhir ini ialah metode yang digunakan untuk mencapai kestabilan atau keseimbangan Robot.

William Budiman, Madhavan Shanmugavel, Veera Ragavan, Samuel Borthwick Lazarus (2014). *A Low-Cost Underwater Navigation System for Remotely Operated Underwater Vehicle - Design, System-Integration, and Implementation*.<sup>[31]</sup> Makalah ini menyajikan sistem navigasi bawah air berbiaya rendah untuk Remotely Operated Underwater Vehicles (ROUVs). Navigasi menggunakan sinyal IMU on-



board bersamaan dengan sinyal GPS intermiten untuk memberikan real-time lokalisasi. Sistem Navigasi Inertial Berbantuan GPS ini (INS) memperkirakan garis lintang dan bujur ROUV menggunakan filter Kalman. Perangkat lunak navigasi khusus dengan GUI dibangun untuk mensimulasikan orientasi ROUV dan juga dapat memperoleh data real-time yang dekat karena tidak memerlukan analisis post-data. Perangkat lunak ini dapat mengakses Google Maps dan dengan demikian merencanakan lintasan hidup. Hal ini membuat sistem user-friendly bagi orang-orang dengan pengetahuan minimal dalam matematika navigasi. Sistem navigasi pertama kali diuji di tempat di mana penerimaan sinyal GPS bagus untuk memastikan berfungsinya secara tepat. Ini diikuti dengan pengujian dengan ROUV custom-built di kolam renang yang dikelilingi oleh bangunan bertingkat tinggi dimana sinyal GPS terdistorsi atau buruk. Sistem navigasi mampu melokalisasi ROUV dengan akurasi 2 sampai 3 meter. Sistem ini juga dirancang untuk menyimpan data on-board maupun di permukaan untuk memudahkan kemudahan pencarian, dan untuk menginisialisasi operasi pencarian jika terjadi kehilangan komunikasi. Pada makalah ini, sensor gyroscope dan accelerometer tidak berada satu modul elektronik tetapi pada pengerjaan tugas akhir ini sensor *gyroscope* dan *accelerometer* menjadi satu modul IMU (*Inertial Measurement Unit*) yaitu sensor MPU 6050. Selain pada pemilihan sensor, perbedaan lain antara makalah ini dengan tugas akhir ialah adanya kontrol kedalaman. Pada tugas akhir ini robot ditambahkan fitur kontrol kedalaman agar robot dapat tetap mempertahankan posisi kedalaman walau terdapat gangguan.

Nima Harsamizadeh Tehrani, Mahdi Heidari, Yadollah Zakeri, Jafar Ghaisari (2010). *Development, Depth Control and Stability Analysis of an Underwater Remotely Operated Vehicle (ROV)*.<sup>[32]</sup> Pada makalah ini, ada penjelasan mengenai robot bawah laut terutama Kendaraan yang Dioperasikan Jarak Jauh (ROV), dirancang untuk melakukan tugas yang berbeda dalam kondisi ekstrim di kedalaman lautan di seluruh dunia. Pemanfaatan kendaraan robotik semacam itu telah semakin penting dalam banyak kegiatan kelautan. Tujuan dari makalah ini adalah untuk menjelaskan perancangan, analisis stabilitas dan masalah pengendalian kedalaman "DENA" ROV dari tim robotika bawah laut Universitas Teknologi Isfahan. "DENA" berukuran kecil; biaya rendah, dan sebuah pendidikan mengusulkan ROV, yang memiliki enam pendorong, satu lengan manipulator dengan desain listrik yang unik, yang membuatnya mudah untuk menangani peralatan yang berbeda di masa depan. Sebagai

kepentingan dan kompleksitas tugas yang dilakukan oleh ROV meningkat, kebutuhan akan skema kontrol otomatis yang menjamin kinerja gerak dan posisi tinggi telah menjadi isu mendasar dalam otomasi bawah air. Pada hal ini, skema kontrol, berdasarkan teknik PID untuk Auto depth Control dan persamaan untuk stabilitas Roll & Pitch diusulkan. Pada tugas akhir ini menggunakan kontrol kedalaman, pitch, roll, dan yaw yang digunakan sebagai sistem stabilizer.

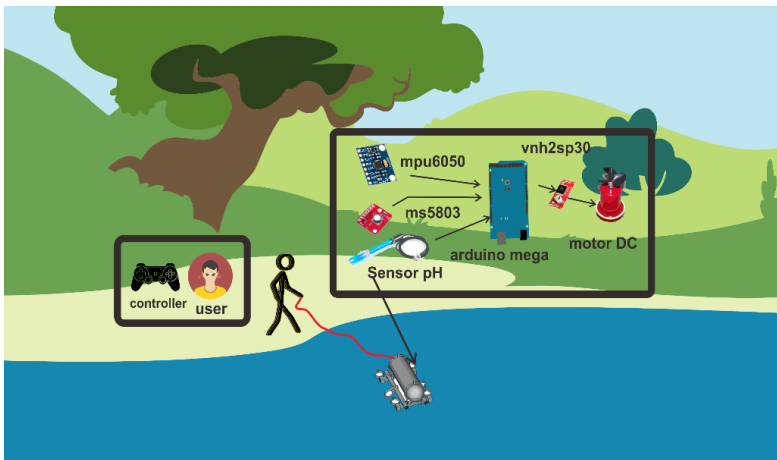
## BAB III

### PERANCANGAN SISTEM

#### 3.1 Diagram Alir Perencanaan

Pada bagian ini akan dijelaskan tahap perancangan underwater remotely operated vehicle. Dalam perancangan ROV dibagi menjadi 3 tahap, yaitu perancangan mekanik, perancangan elektronik, dan perancangan perangkat lunak. Hal yang pertama dilakukan ialah perancangan mekanik. Rancangan mekanik dimulai dengan rancangan *body* utama yaitu sebuah tabung akrilik dengan diameter 10-centimeter dan panjang 25-centimeter dengan ketebalan akrilik sebesar 5-milimeter. Bodi utama robot lalu dijepit dengan rancangan hasil printer 3 dimensi. Pada bagian kerangka ditambahkan pipa kecil berukuran 1/2 inchi dan aluminium sebagai tulang penyangga robot. Sensor pH ditaruh dibagian luar belakang robot untuk mengambil data nilai pH di perairan tertentu.

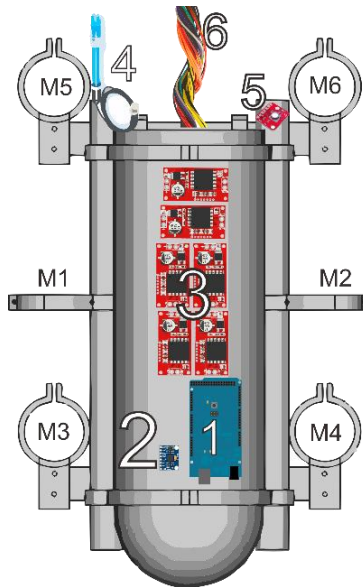
Ketika ROV telah selesai dirancang, ROV ditugaskan bekerja di bawah perairan, semisal danau. Berikut ilustrasi integrasi antar sistem perancangan kerja underwater ROV dalam pengerjaan Tugas Akhir ini.



**Gambar 3.1** Integrasi antar sistem

Pada gambar di 3.1. terlihat bagaimana ilustrasi perancangan sistem robot ROV yang diharapkan pada pengerjaan Tugas Akhir ini. Secara umum sistemnya dibagi menjadi 2 bagian, yaitu bagian user dan bagian

robot. Pada bagian user, terdapat seorang user (atau pengguna) dan sebuah kontroller yang mengendalikan robot dari permukaan. Pada bagian robot, terdapat *body* utama dimana semua komponen elektronik berada. Di dalam *body* utama terdapat arduino mega, sensor mpu6050, motor driver, dan rangkaian buck. Ada beberapa komponen elektronik yang diharuskan berada di dalam air, seperti motor DC, sensor tekanan ms5803, dan sensor pH. Secara keseluruhan, tampak rancangan ROV pada Tugas Akhir ini dapat ditunjukkan oleh gambar berikut.



**Gambar 3.2** Perancangan ROV secara keseluruhan

Dari gambar perancangan ROV secara keseluruhan, berikut keterangan gambar perancangan tersebut.

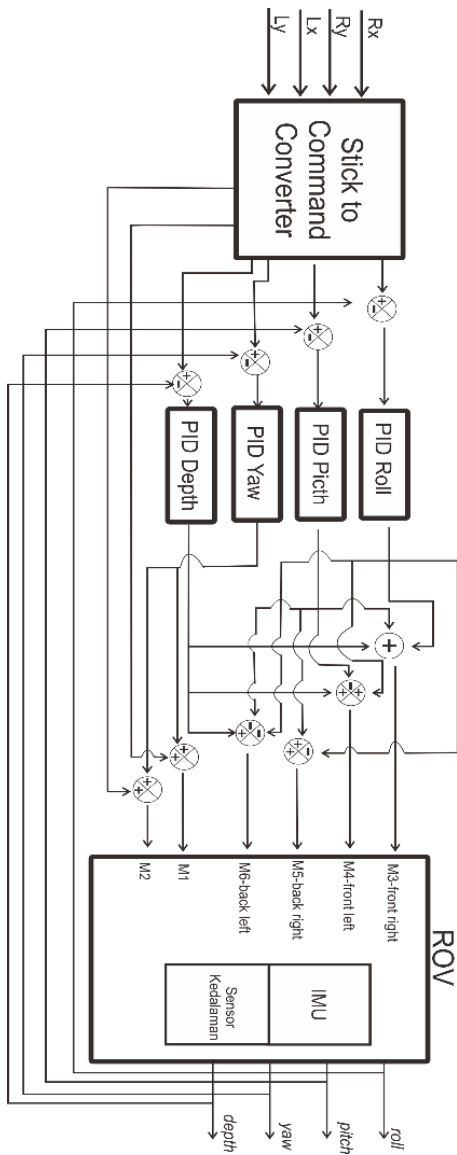
1. Arduino Mega 2560
  2. Semsor IMU MPU6050
  3. Motor Driver VNH2SP30
  4. Sensor pH
  5. Sensor tekanan MS5803
  6. Kabel (tethering)
- M1-M6 Motor DC

Sistem yang diajukan pada pengerjaan Tugas Akhir ini menggunakan mikrokontroler tipe Arduino Mega 2560 CH340 sebagai otak utama dalam proses pengolahan data dan eksekusi perintah. Ketika bekerja dalam sistem ROV pada tugas akhir ini, arduino mega juga memiliki tanggung jawab untuk mengatur pergerakan ROV keatas, kebawah, kedepan, dan ke belakang dengan kontrol PID. Untuk kondisi bergerak naik dan turun, diberikan nilai setpoint 0 untuk posisi x dan z. Setelah itu, nilai setpoint akan diubah, ditambah dan dikurangi berdadarkan nilai feedback dari sensor MPU6050 dan MS5803. Berikut spesifikasi perancangan robot ROV yang diharapkan.

**Tabel 3.1** Spesifikasi Robot

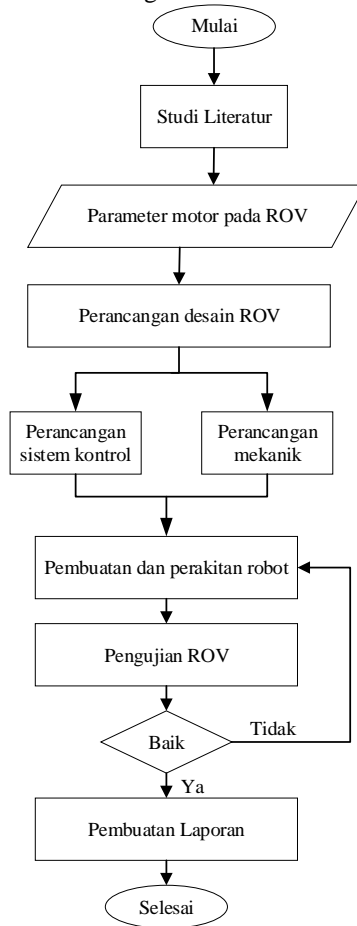
| <b>Spesifikasi</b> | <b>Data</b>  |
|--------------------|--------------|
| Dimensi Robot      | 30 x 28 x 25 |
| Jumlah Motor       | 6 buah       |
| Input Tegangan     | 12 Volt      |
| Jarak Kendali      | 0 – 8 meter  |
| Kedalaman Maksimum | 14 meter     |
| Berat              | 4 kg         |
| Pembacaan pH       | 0-14         |
| Durasi Pemakaian   | 15 menit     |

Sistem keseluruhan ROV digerakkan oleh 6 buah motor DC yang diatur dan diberi perintah oleh masing-masing sebuah motor driver vnh2sp30. Empat buah motor digunakan untuk bergerak secara vertikal naik dan turun dan 2 buah motor digunakan untuk pergerakan maju dan mundur. Gambar diagram blok sistem kontrol PID dalam perancangan underwater ROV pada Tugas Akhir ini sebagai berikut.



**Gambar 3.3** Diagram blok perancangan sistem kontrol ROV

Secara keseluruhan proses pembuatan dan penyelesaian Tugas Akhir ini digambarkan dalam diagram alir di bawah ini.



**Gambar 3.4** Diagram alir perencanaan

### 3.2 Penjelasan Diagram Alir

Proses penyelesaian Tugas Akhir ini melalui beberapa tahap, sebagai berikut :

### **3.2.1 Studi literatur**

Pada studi literatur meliputi pencarian dan mempelajari bahan pustaka yang berkaitan dengan segala perkembangan robot ROV, permasalahan mengenai perancangan dan pengetahuan mengenai komponen-komponen yang digunakan. Literatur ini diperoleh dari berbagai sumber antara lain buku / text book, diktat yang mengacu pada referensi, jurnal ilmiah, Tugas Akhir yang berkaitan, dan media internet.

### **3.2.2 Perancangan desain robot**

Pada tahap ini dilakukan perancangan desain robot secara keseluruhan yang nantinya akan mempermudah dalam melakukan tahap selanjutnya.

### **3.2.3 Perancangan mekanik dan sistem kontrol**

Pada tahap ini dilakukan perancangan sistem kontrol yang meliputi pemrograman pada Arduino sedangkan perancangan mekanik yakni memilih komponen-komponen yang akan digunakan dalam pembuatan dan perakitan robot.

#### **a. Perancangan mekanik**

Pada perancangan mekanik dilakukan pemilihan komponen-komponen berikut spesifikasi yang nantinya digunakan untuk pembuatan dan perakitan robot.

#### **b. Perancangan sistem kontrol**

Pada perancangan sistem kontrol, sistem motor dimodelkan berdasarkan kesetimbangan torsi dan rangkaian listrik pada jangkar. Kemudian dirancang pemodelan PID yang diharapkan akan didapat respon cepat dan tanpa *overshoot* dan dirangkai menjadi sistem kontrol tertutup dengan sistem motor.

### **3.2.4 Pembuatan dan perakitan robot**

Pada tahap ini dilakukan pembuatan dan perakitan robot dimana hasil pemrograman dari perancangan elektrik diintegrasikan dengan komponen-komponen mekanik yang telah dipilih sesuai dengan perancangan yang dibuat.

### **3.2.5 Pengujian robot ROV**

Kemudian dilakukan pengujian robot dimana hasil dari pengujian ini akan dianalisa. Pengujian robot dilakukan pada perairan.



### 3.2.6 Pembuatan laporan

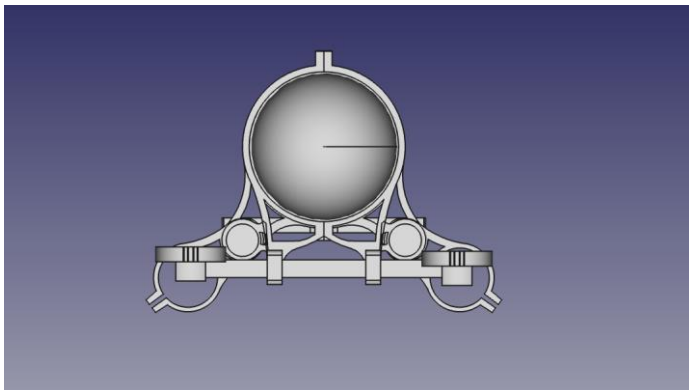
Pada tahap terakhir ini dilakukan pembuatan laporan yang berkaitan dengan hasil pengujian dan analisa robot. Setelah laporan selesai dibuat maka selanjutnya adalah menarik kesimpulan sebagai hasil.

## 3.3 Perancangan Robot ROV

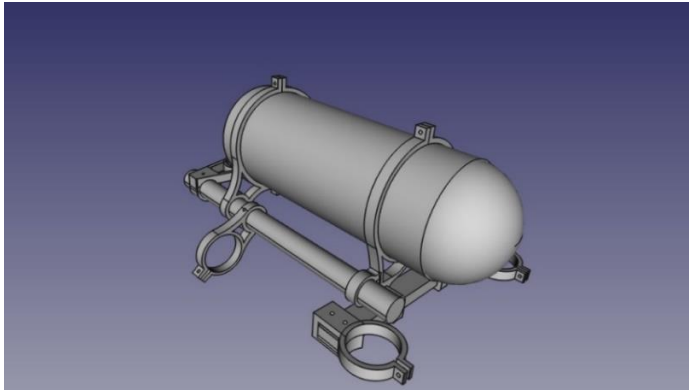
Perancangan mekanik untuk Underwater Remotely Operated Vehicle merupakan hal yang banyak tantangan, mulai dari gambaran awal ROV bentuknya kotak atau bentuk lainnya, material yang digunakan untuk *body* utama dan kerangka tulang, bagaimana *body* utama tempat komponen berada tidak bocor, desain *body* agar seimbang dan lainnya. Dalam perancangan mekanik ini juga dibahas tentang perancangan sistem elektronik dari robot ROV.

### 3.3.1 Rancangan Desain Robot

Rancangan awal robot didesain dengan software freecad dan tabung akrilik sebagai bahan utama bodi robot. Tabung akrilik mempunyai diameter 10 cm, ketebalan 5mm dan panjang 25 cm. Hasil rancangan dari software freecad lalu dicetak menggunakan printer 3 dimensi. Dalam rancangan ini pun digunakan aluminium berukuran 2x1 cm dan pipa berukuran ½ inchi sebagai kerangka tulang robot. Dibagian bawah robot diberi sepasang pipa dengan diameter 1½ inci sebagai kaki dan pemberat robot. Berikut desain robot dari software freecad.

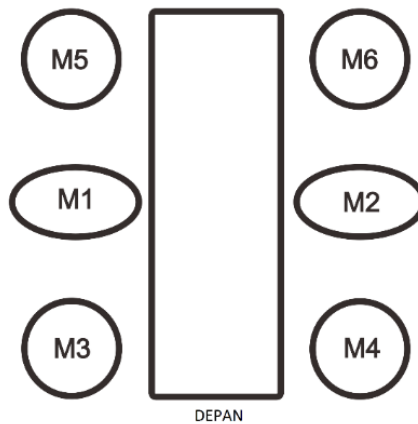


**Gambar 3.5** Desain robot tampak depan



**Gambar 3.6** Desain robot tampak isometri

Dalam pergerakannya, robot menggunakan 6 buah motor untuk bergerak di dalam air, 4 buah motor untuk bergerak secara vertikal dan 2 buah motor untuk bergerak secara horizontal. Motor 1 bagian horizontal kanan, motor 2 berada di horizontal kiri, motor 3 ditaruh di depan bagian kanan, motor 4 berada di bagian depan kiri, motor 5 bagian belakang kanan, dan motor 6 berada di bagian belakang kiri. Berikut gambar rancangan peletakan motor pada UROV.



**Gambar 3.7** Perancangan peletakan motor robot

Untuk perancangan mekanik, robot ROV diawali dengan sebuah pipa/tabung akrilik dengan ukuran diameter 100 milimeter dan panjang 350 milimeter dengan ketebalan tabung 5 milimeter. Tabung akrilik yang digunakan memiliki warna bening atau tidak berwarna. Tabung akrilik ini berfungsi sebagai badan utama dalam robot, tempat dimana komponen elektronik robot diletakkan. Warna bening pada tabung akrilik akan membantu pengguna untuk memantau keadaan komponen ketika berada di dalam tabung. Dari dimensi tabung, volume tabung dapat dihitung sebagai berikut.

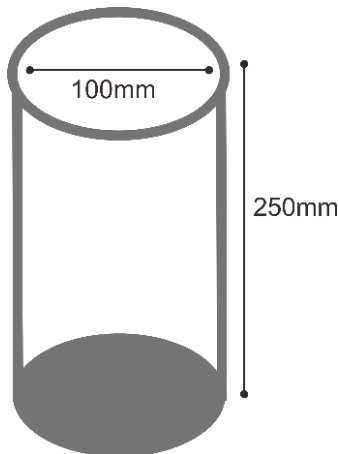
$$V = \pi r^2 t$$

$$r = 50 \text{ mm}$$

$$t = 250 \text{ mm}$$

sehingga didapatkan besar volume tabung ialah :  
 $v = 1011271.24297 \text{ mm}^3$

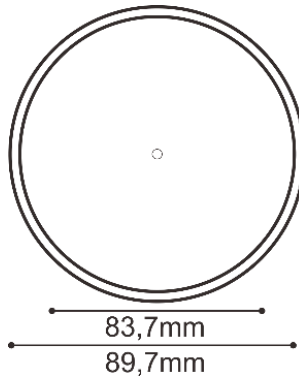
dibulatkan menjadi :  
 $v = 101 \text{ cm}^3$



**Gambar 3.8** Ilustrasi tabung akrilik

Selanjutnya, dalam perancangan mekanik ialah perancangan tutup depan, tutup belakang, dan dome ROV. Semua rancangan dibuat sedemikian rupa sehingga tidak ada celah masuknya air ketika tutup rov

ditutup. Untuk itu, tutup ROV dirancang dengan bahan akrilik dengan beberapa lapisan. Diantara lapisan-lapisan piring akrilik diberi karet o-ring yang berfungsi untuk menahan masuknya air dengan sifat adhesif karet.



**Gambar 3.9** Perancangan tutup tabung



**Gambar 3.10** Perancangan tutup tabung akrilik

Tutup tabung akrilik dirancang ke dalam 3 bagian. Bagian pertama dan bagian kedua serupa, yaitu 2 buah piringan akrilik berukuran diameter 83,7mm dan 89,7mm. Ada 6mm selisih diameter antar 2 piring akrilik digunakan sebagai tempat karet oring dengan ketebalan 3mm. Bagian ketiga merupakan bagian terluar dari tutup, dirancang menggunakan piring akrilik dengan diameter lebih besar yaitu 120mm dan ketebalan 5mm. Bagian terluar tutup ini berfungsi sebagai bagian untuk mempermudah membuka dan menutup tutup tabung akrilik. Semua bagian tutup akrilik disambungkan menggunakan lem jenis G. Antara lapisan 1 dan 2, dan lapisan 2 dan 3 ditaruh karet oring.

Untuk mempermudah tutup tabung masuk muat ke dalam tabung akrilik ketika proses penutupan tabung, digunakan liquid seperti stampede (grease). Grease merupakan cairan kental sejenis lubricant yang biasa digunakan dalam permesinan dalam kendaraan bermotor. Stampede (bahasa pasar) bersifat licin sehingga dapat memudahkan tutup tabung masuk tertutup ke dalam tabung dengan sempurna.

Dalam perancangan dome ROV, digunakan acrylic ball dengan diameter 12-sentimeter. Acrylic ball yang digunakan hanya setengah bagian, sedangkan bagian setengahnya lagi dapat disimpan. Setengah bola acrylic ball lalu di tempelkan dengan akrilik tutup. Dome berfungsi sebagai housing bagi kamera jika ROV yang digunakan menggunakan kamera.



**Gambar 3.11** Perancangan dome

Dalam perancangan awal, ada tambahan perancangan yaitu perancangan pemberat. Perancangan pemberat ini dibutuhkan jika rancangan robot yang telah dibuat belum memiliki berat yang seimbang antara bagian depan dan belakang, dan bagian kanan dan kiri. Pemberat ini dirancang dengan menggunakan pipa berukuran 2 inchi dan panjang 10 centimeter. Pipa pemberat ini lalu diisi dengan paku masing-masing dengan berat 500 gram. Berat pipa pemberat dapat berubah-ubah sesuai dengan kebutuhan.

### 3.3.2 Persamaan Gaya Apung Robot

Gaya apung merupakan lawan dari gaya berat ke dalam sebuah benda ketika berada dalam air. Gaya apung ini dicatat sejarah dikenal pertama kali oleh orang Yunani bernama Archimedes. Ketika benda masuk kedalam air, benda mendorong air keatas dan air juga mendorong benda ke atas. Maka terbentuklah 2 gaya berlawanan. Besar gaya apung dapat dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut.

$$Fa = Mf \times g \quad (3.1)$$

$$Fa = \rho f \times Vbf \times g \quad (3.2)$$

Dimana  $Fa$  adalah besar gaya apung,  $Mf$  adalah massa zat cair ke benda,  $g$  adalah gaya gravitasi bumi,  $\rho f$  adalah massa jenis zat cair dan  $Vbf$  adalah volume benda yang tercelup dalam zat cair.

Dari hukum archimedes, dapat ditentukan besarnya gaya apung robot. Dikarenakan adanya gaya apung, berat benda dalam zat cair akan berkurang. Hal ini dapat terlihat ketika mengangkat benda yang berada di dalam zat cair terasa lebih ringan dibandingkan ketika mengangkat benda yang sama ketika berada di daratan. Hal ini sesuai dengan prinsip hukum *archimedes* dimana ketika suatu benda berada di dalam air, akan ada gaya ke atas yang ditimbulkan oleh air dan diterima oleh benda. Sehingga resultan gaya (hasil gaya akhir) antara gaya berat dan gaya apung benda ke atas merupakan berat benda di dalam air. Benda di dalam air diberi simbol  $Wa$ . Hubungan antara berat benda di udara ( $W$ ), gaya apung ke atas ( $Fa$ ), dan berat semu dapat dirumuskan sebagai berikut.

$$Wa = W - Fa \quad (3.3)$$

Dimana,  $W_a$  adalah berat benda dalam zat cair,  $W$  sebesar 45 gram  $\text{cm/s}^2$  dan  $F_a$  sebesar gaya apung dengan satuan Newton.

Gaya apung diasumsikan sebagai gaya angkat yang diberikan oleh tabung akrilik berisi udara. Dengan volume udara yang sama dengan volume tabung yaitu sebesar  $101 \text{ cm}^3$ , dan gaya apung udara pada tabung dapat dihitung sebagai berikut.

$$F_a = \rho_{\text{cair}} * V_b * g \quad (3.4)$$

Untuk mendapatkan kalkulasi keseimbangan pada robot, makan dapat dihitung menggunakan ekspresi matematika sebagai berikut.

$$\rho_b * V_b * g < \rho_{zc} * V_b * g \quad (3.5)$$

Dimana,  $\rho_b$  sebesar  $0.0012 \text{ g/cm}^3$  ( $\rho_{\text{udara}}$ ),  $\rho_{\text{air tawar}}$  sebesar  $1 \text{ g/cm}^3$  ( $\rho_{zc}$ ),  $\rho_{\text{air laut}}$  sebesar  $1.031 \text{ g/cm}^3$  ( $\rho_{zc}$ ),  $V_b$  sebesar  $101 \text{ cm}^3$  dan  $980 \text{ cm/s}^2$ , sehingga didapatkan nilai gaya apung ( $F_a$ ) sebesar 9,8 Newton.

### 3.3.3 Model Matematik Pergerakan Quadrotor Robot

Robot dirancang dengan model quadrotor artinya pergerakan robot dan kesinimbangannya dibantu oleh pergerakan 4 buah motor. Perancangan robot dengan 4 buah motor juga membantu robot untuk bergerak lebih leluasa dan dapat menyeimbangkan bodinya dengan lebih baik.

Setiap motor pada pergerakan gerak *pitch* dan *roll* memiliki momen gaya, momen inersia, dan percepatan sudut. Momen gaya ( $\tau$ ) ialah sebuah besaran dalam menyatakan besarnya gaya yang bekerja pada sebuah benda sehingga mengakibatkan benda tersebut bergerak rotasi, sedangkan momen inersia ialah ukuran kelembaman suatu benda untuk berotasi terhadap porosnya sedangkan percepatan sudut ( $\alpha$ ) adalah laju perubahan kecepatan sudut terhadap waktu.

Momen gaya dapat dirumuskan sebagai berikut.

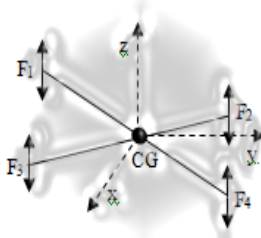
$$\tau = F * r * \sin \theta \quad (3.6)$$

Dimana  $\tau$  adalah momen gaya,  $F$  adalah gaya yang bekerja,  $r$  adalah jari-jari dan  $\theta$  adalah sudut antara  $F$  dan  $r$ .

Sedangkan momen inersia dapat dihitung menggunakan rumus sebagai berikut.

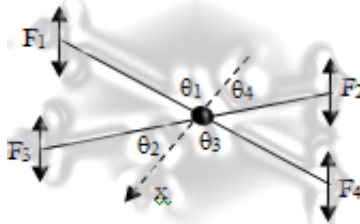
$$I = \frac{\tau}{\alpha} \quad (3.7)$$

Dimana  $I$  adalah momen inersia,  $\tau$  adalah momen gaya dan  $\alpha$  adalah percepatan sudut.



**Gambar 3.12** Model matematik quadrotor

Berdasarkan Gambar 3.13 maka momen gaya yang bekerja dapat dibagi menjadi 2 yaitu pada sumbu  $x$  dan sumbu  $y$ .



**Gambar 3.13** Model matematis rotasi terhadap sumbu  $x$

Sedangkan rotasi terhadap sumbu  $x$  dapat dimodelkan dengan rumus sebagai berikut.

$$\tau = F_{total} \times R \times \sin \theta \quad (3.8)$$

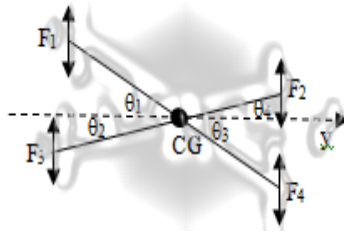
$$\tau = (F_1 + F_2 - F_3 - F_4) \times R \times \cos \theta = I_{xx} \cdot \alpha \quad (3.9)$$

$$\alpha = \frac{(F_1 + F_2 - F_3 - F_4) \times R \times \cos \theta}{I_{xx}} \quad (3.10)$$

Model matematik rotasi terhadap sumbu  $x$  diatas artinya model matematis pergerakan robot untuk jenis gerak roll. Ketika  $\alpha$  bernilai



positif maka robot bagian samping kanan akan lebih rendah daripada bagian kiri sebaliknya jika ketika  $\alpha$  bernilai negatif maka robot bagian kiri akan lebih rendah daripada robot bagian kanan.



**Gambar 3.14** Model matematis rotasi terhadap sumbu y

Rotasi terhadap sumbu y dapat dimodelkan dengan rumus sebagai berikut.

$$\tau = F_{total} \times R \times \sin \theta \quad (3.11)$$

$$\tau = (F_1 + F_3 - F_2 - F_4) \times R \times \sin \theta = I_{yy} \cdot \alpha \quad (3.12)$$

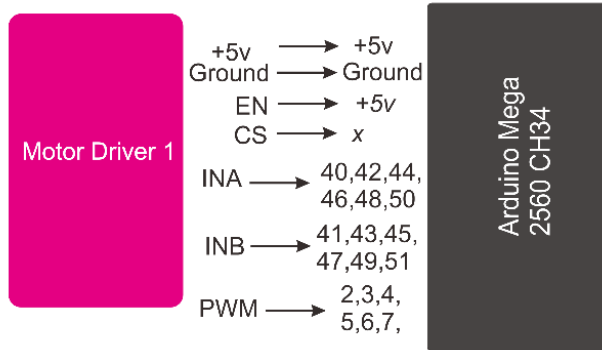
$$\alpha = \frac{(F_1 + F_3 - F_2 - F_4) \times R \times \sin \theta}{I_{yy}} \quad (3.13)$$

Model matematik rotasi terhadap sumbu y artinya model matematis pergerakan robot untuk sumbu pitch. Ketika  $\alpha$  bernilai positif maka robot bagian depan akan lebih rendah daripada bagian belakang sebaliknya jika ketika  $\alpha$  bernilai negatif maka robot bagian belakang akan lebih rendah daripada robot bagian depan robot.

### 3.3.4 Driver Motor

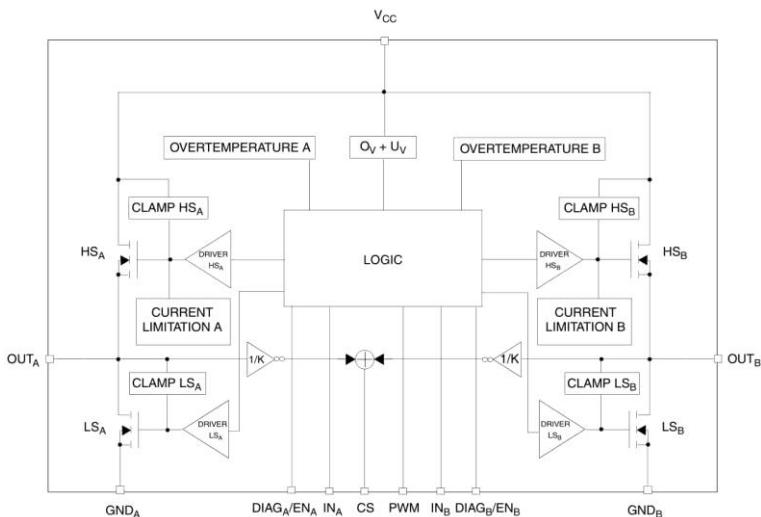
Dalam pengerjaan Tugas Akhir ini, driver motor yang digunakan ialah driver motor modulan tipe VNH2SP30. Pemilihan motor driver ini ialah sebab penggunaanya yang cukup mudah, arus yang dapat dilewati motor driver cukup besar.

Ada 7 pin dalam IC motor driver ini, yaitu VCC, GND, EN, CS, INA, INB, dan PWM. Pin CS tidak digunakan sebab pin CS untuk sensor arus (Current Sensor) yang tidak digunakan dalam pengerjaan Tugas Akhir ini. PIN EN di sambungkan dengan pin +5v agar tidak perlu di program di arduino IDE, dan adanya efisiensi program. Berikut gambaran koneksi motor driver ke arduino mega.



**Gambar 3.15** Koneksi motor driver ke arduino mega

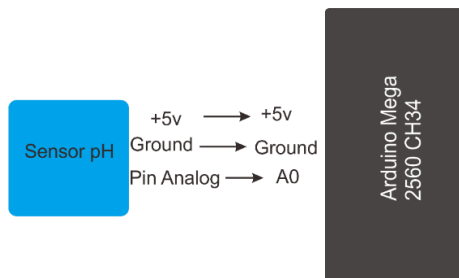
Secara umum, semua driver motor menggunakan rangkaian H-Bridge. H-bridge merupakan rangkaian yang cukup sederhana. Rangkaian H-Bridge memiliki 4 buah switching elemen, dengan beban load berada di tengah, sehingga berbentuk menyerupai huruf H.



**Gambar 3.16** Rangkaian skematik motor driver vnh2sp30

### 3.3.5 Perancangan Sensor pH

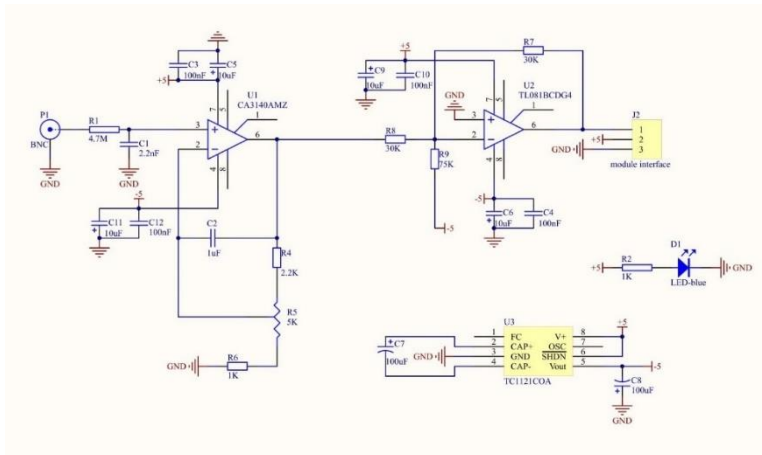
Sensor pH yang digunakan merupakan hasil modul dari dfrobot. Sensor ini dibagi menjadi 2 bagian, yaitu sensor probe dan modul PCB sensor. Sensor pH dari dfrobot ini sudah cukup gampang digunakan. Ada 3 pin output yang tersedia, yaitu pin Vcc, ground, dan analog. Pin Vcc dihubungkan dengan rangkaian buck yang telah di setting dengan tegangan +5,04 volt, pin ground digabungkan dengan pin ground yang lainnya, dan pin analog dihubungkan ke pin A0 pada arduino mega. Berikut gambar koneksi sensor dengan arduino mega.



**Gambar 3.17** Koneksi sensor pH ke arduino mega

Hasil data analog yang didapatkan oleh sensor pH sangat bergantung kepada besarnya input tegangan ke sensor pH. Semakin dekat nilai besar sumber tegangan dengan angka +5 volt, maka semakin presisi hasil bacaan sensor. Untuk itu, supply tegangan untuk sensor pH diusahakan untuk mendekati angka +5volt.

Dalam penggunaan sensor pH dari dfrobot, pengguna sangat disarankan untuk menggunakan supply 5 volt independent. Artinya sumber daya sensor pH dalam rancangan Tugas Akhir ini langsung dari baterai ke rangkaian buck dan selanjutnya ke sensor pH, sumber daya bukan dari pin 5volt arduino mega. Tegangan input ke sensor pH merupakan elemen terpenting dalam keakurasian pembacaan sensor, sebab sensor pH membaca data analog tegangan. Tegangan pin 5volt pada arduino acap kali tidak stabil disebabkan beberapa hal, diantaranya banyak komponen lain yang juga terkoneksi dengan pin 5volt arduino dan ketika berproses pin 5volt arduino sesekali terjadi drop tegangan. Drop tegangan dapat menyebabkan pembacaan sensor yang kurang akurat. Berikut gambar rangkaian skematik sensor pH dari dfrobot.



**Gambar 3.18** Rangkaian skematik sensor pH

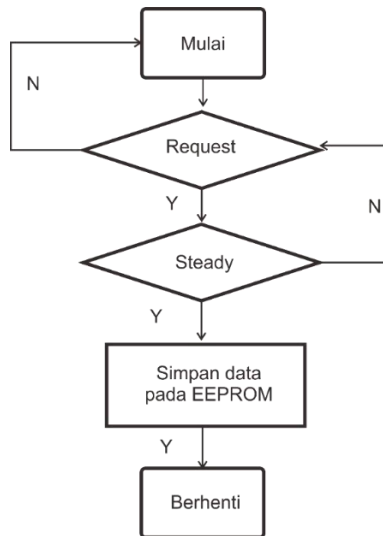
### 3.4 Perancangan Perangkat Lunak

Setelah perancangan sistem mekanik dan rangkaian elektronik, langkah selanjutnya ialah perancangan perangkat lunak. Dalam perancangan perangkat lunak, ada akuisisi data sensor IMU dengan sensor tipe MPU6050 GY-521, dan perancangan program gerak robot dengan kontrol PID (Propotional, Integral, dan Derivative).

#### 3.4.1 Akuisisi data sensor IMU

Sensor IMU yang digunakan dalam Tugas Akhir ini ialah MPU6050 GY-521 (sensor accelerometer dan gyroscope) Sensor IMU menggunakan komunikasi tipe i2c dengan address sensor 0x68 saat address device AD0 = 0. (Isfahan University of Technology ROV team.2005)

Sensor IMU jika digunakan harus dikalibrasi terlebih dahulu agar dapat berfungsi sesuai keinginan pengguna. Ketika mengakuisisi data giroskop sering kali terdapat kesalahan pembacaan nilai kemiringan, maka kalibrasi diperlukan sehingga nilai kemiringan akan sesuai dengan nilai setup. Kalibrasi snsor dilakukan dengan cara memberikan pengertian arah kepada sensor dan robot, termasuk di dalamnya arah kanan-kiri, atas-bawah, dan miring. Hasil pembacaan arah ini lalu dimasukkan data nya ke EEPROM (Electricaly Erasable Programmable Read-Only Memeory) pada arduino mega.



**Gambar 3.19** Flowchart kalibrasi arah sensor MPU6050 GY-521

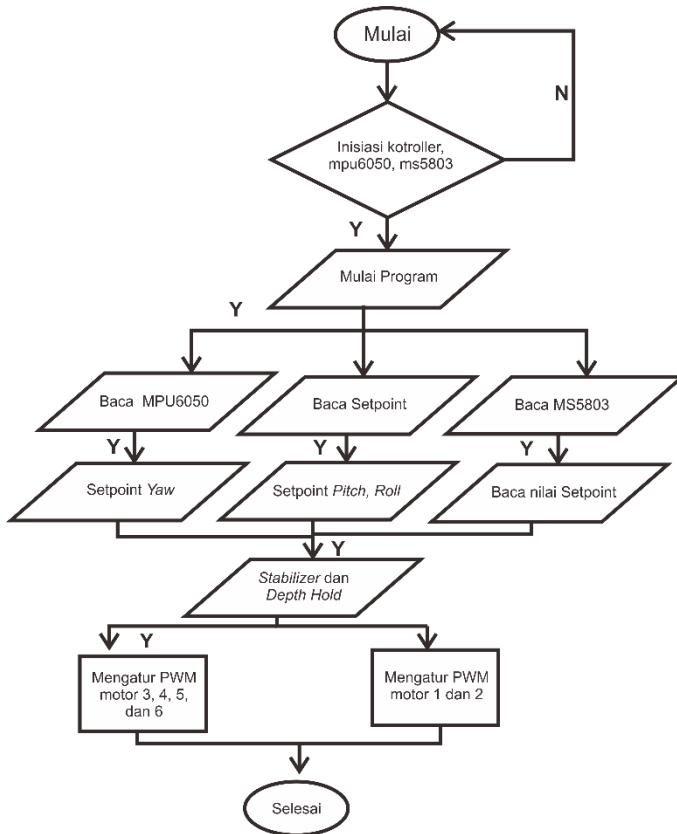
### 3.4.2 Akuisisi data sensor IMU

Kontrol PID dalam Tugas Akhir ini mempunyai keluaran sinyal PWM yang mengontrol jumlah arus yang dihasilkan dari driver motor vnh2sp30 untuk menggerakkan motor dengan kecepatan yang diinginkan. Untuk mengatur nilai PID, dilakukan dengan metode tuning nilai  $K_p$ ,  $K_i$ , dan  $K_d$  secara manual, nilai dari masing-masing koefisien tersebut akan membuat respon motor cepat dan meminimalkan timbulnya osilasi sinyal (C. S. Chin, M. W.2005)

Implementasi kontrol PID di dalam Tugas Akhir ini berada di Mikrokontroler Arduino Mega 2560. Algoritma yang digunakan untuk mengontrol kecepatan motor untuk bergerak maju dan naik-turun berbeda. Perbedaannya pada tipe kontrol PID, dimana motor untuk kanan-kiri dikontrol untuk differential sedangkan untuk atas bawah tidak.

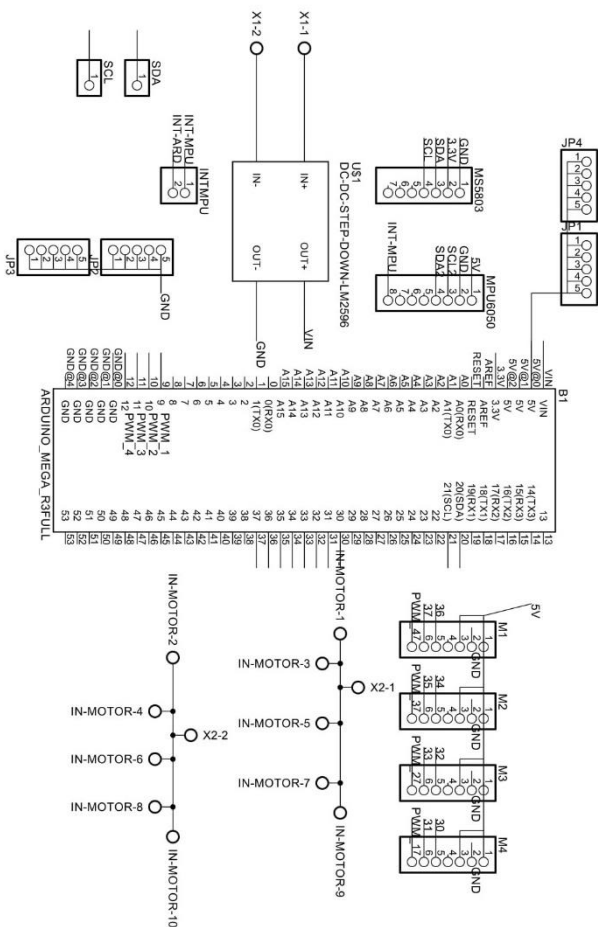
Algoritma dari kontrol PID yang dirancang untuk sistem ini meliputi pencarian nilai sinyal error, dilanjutkan dengan pencarian integral error dan nilai derivative error. Setelah ketiga nilai didapatkan, perumusan kontrol PID akan memperoleh nilai keluaran PWM.

Secara keseluruhan, flowchart perangkat lunak robot underwater ROV pada tugas akhir ini dapat dilihat seperti berikut.

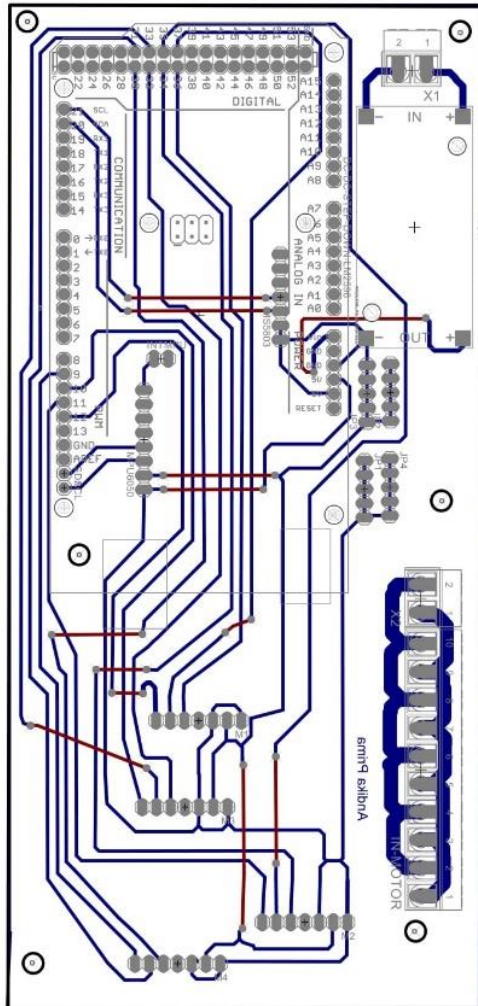


**Gambar 3.20** Flowchart sensor IMU, kedalaman, PID dan kontrol robot

Secara keseluruhan, berikut skematik rangkaian dalam perancangan ROV pada Tugas Akhir ini.



**Gambar 3.21** Skematik perancangan ROV



**Gambar 3.22** Desain PCB perancangan ROV



## **BAB IV**

### **PENGUJIAN DAN ANALISA**

Setelah melakukan perancangan Robot Underwater Remotely Operated Vehicle, langkah selanjutnya ialah melakukan pengujian mekanik, pengujian terhadap sensor-sensor yang dipakai dan pengujian sistem ROV itu sendiri secara keseluruhan. Pengujian mekanik ialah uji bentuk fisik robot, diantaranya termasuk realisasi desain dan uji kebocoran robot jika dimasukkan ke dalam air. Pengujian elektronik ialah menguji komponen-komponen elektronik yang digunakan di dalam robot, termasuk di dalamnya pengujian sensor pH, sensor IMU MPU6050, dan sensor tekanan MS5803. Setelah semua sistem siap, maka dilakukan uji terakhir yaitu pengujian Robot Underwater ROV secara keseluruhan, diantaranya termasuk: uji kontrol PID pada 3 tipe gerakan yaitu pitch, roll, dan yaw; uji kontrol kedalaman; uji kestabilan robot; uji pembacaan nilai pH ketika robot di dalam air. Di akhir BAB ini akan ditampilkan hasil pengujian pH di beberapa tempat.

#### **4.1 Realisasi Desain**

Badan utama robot menggunakan tabung akrilik dengan ukuran diameter 100 milimeter dan panjang tabung 250 milimeter dengan ketebalan akrilik 5 milimeter. Tutup belakang tabung juga dibuat dengan akrilik dilengkapi dengan 2 buah o-ring yang berfungsi untuk menghambat masuknya air ke dalam robot dengan sifat adhesifnya.

Untuk tutup bagian depan, ROV juga menggunakan tutup yang serupa dengan tutup belakang menggunakan 2 buah o-ring tetapi dengan diameter yang lebih besar sebab menggunakan dome setengah lingkaran diameter 12 cm. Dome berfungsi untuk memberikan keluasaan bagi kamera untuk memberikan gambaran visual kepada user.

Pada bagian kerangka robot, terdapat pipa berukuran 1/2 inci dan aluminium dengan dimensi 2x1 cm sebagai tulang penyangga robot. Dan pada bagian bawah robot digunakan pipa dengan diameter 1 1/2 inci sebagai pemberat.

Pada bab ini akan dibahas mengenai pengujian dari sistem yang telah dirancang. Bab ini bertujuan untuk mengetahui apakah tujuan dalam perancangan sistem pada tugas akhir ini telah terlaksana atau tidak. Pengujian pada bab ini terdiri dari pengujian sensor MS 5803 dan pengujian kontrol PID.



**Gambar 4.1** Realisasi desain robot ROV tampak isometri

#### **4.2 Pengujian Sensor MS 5803**

Pengujian sensor MS 5803 dilakukan untuk mengetahui besar error dari sensor MS 5803. Pengujian dilakukan dengan 3 tahap, pertama diujikan sensor agar kedap air, setelah itu melakukan proses kalibrasi sensor, dan diujikan kembali di air untuk mengetahui error pembacaan sensor.

Pengujian sensor kedap air dilakukan dengan cara membuat “baju” untuk sensor MS5803 terlebih dahulu. Baju ini harus menutupi seluruh bagian sensor kecuali bagian gel protection dan arah kabel keluar. Baju untuk sensor tekanan ini dapat dibuat dari akrilik atau filamen hasil printer 3 dimensi. Bagian-bagian sambungan atau bagian yang ada kemungkinan celah masuk air, lalu di-coating menggunakan cairan resin atau epoxy. Proses kalibrasi sensor MS5803 dimulai dengan menghitung

nilai pembacaan sensor dan kedalaman sebenarnya, lalu dilakukan komputasi numerik metode regresi. Setelah proses kalibrasi, sensor diuji coba lagi untuk mengetahui error pembacaan.

#### **4.2.1 Pengujian di dalam Air**

Pada tahap ini dilakukan uji coba pengukuran sensor yang sudah dibuat kedap di dalam air. Pada Gambar 4.2, dapat dilihat sensor masih dapat membaca tekanan dan kedalaman air.



**Gambar 4.2** Uji Coba Sensor MS5803 di dalam Air

#### **4.2.2 Kalibrasi Sensor MS5803**

Dalam proses kalibrasi sensor tekanan MS5803 dari sparkfun, kita mengambil pembacaan nilai tekanan awal. Nilai pembacaan ini lalu disandingkan dengan nilai kedalaman sebenarnya. Berikut hasil pembacaan awal sensor MS5803.

**Tabel 4.1** Nilai Pembacaan Sensor MS5803

| <b>Pembacaan Kedalaman<br/>(cm)</b> | <b>Kedalaman sebenarnya<br/>(cm)</b> |
|-------------------------------------|--------------------------------------|
| 1,55                                | 1                                    |
| 1,79                                | 3                                    |
| 2,07                                | 6                                    |
| 2,51                                | 10                                   |
| 2,89                                | <u>13</u>                            |
| 3,31                                | <u>17</u>                            |

Data diatas dikelompokkan nilai pembacaan kedalaman sebagai nilai sumbu x dan nilai pembacaan sebenarnya sebagai nilai pada sumbu y. Data diatas diolah dengan proses regresi orde 2. Setelah ada nilai x dan y, dicarilah nilai  $x.y$  dan  $x^2$ . Lalu data tersebut dijumlahkan setiap kolomnya. Berikut tabel regresinya.

**Tabel 4.2** Tabel Regresi Nilai Pembacaan Sensor MS5803

| <b>x</b> | <b>y</b> | <b>x.y</b> | <b>x<sup>2</sup></b> |
|----------|----------|------------|----------------------|
| 1,55     | 1        | 1,55       | 2,4025               |
| 1,79     | 3        | 5,37       | 3,2041               |
| 2,07     | 6        | 12,42      | 4,2849               |
| 2,51     | 10       | 25,1       | 6,3001               |
| 2,89     | 13       | 37,57      | 8,3521               |
| 3,31     | 17       | 56,27      | 10,9561              |

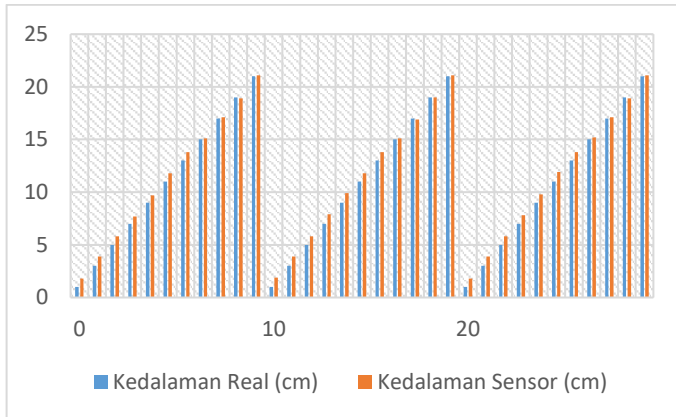
Selanjutnya, nilai a dan b dicari dari data tabel diatas dengan metode regresi dan didapatkan nilai  $a = -13.03$  dan nilai  $b = 9.078$ . Sehingga persamaan akhir kalibrasi sensor MS5803 ialah  $y = a + bx$  dan didapatkan persamaan sebagai berikut.

$$y = -13.03 + 9,078x \quad (4.1)$$

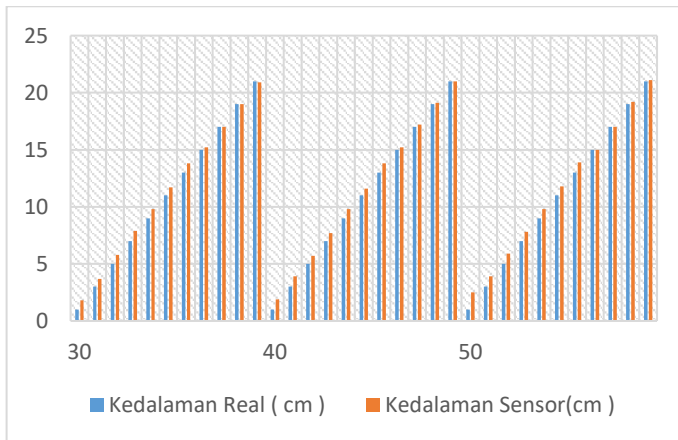
Dimana y ialah nilai kedalaman sebenarnya dan x sebagai nilai pembacaan kedalaman oleh sensor.

### 4.2.3 Uji Error Pembacaan Sensor

Setelah sensor dikalibrasi, maka tahap selanjutnya adalah dilakukanlah uji pembacaan eror oleh sensor. Dari pengujian tersebut didapatkan hasil sebagai berikut.



**Gambar 4.3** Grafik Pengujian MS5803



**Gambar 4.4** Grafik Pengujian MS5803

Dari grafik diatas didapatkan kesimpulan bahwa sensor MS 5803 memiliki error sebesar 1 - 2 cm.

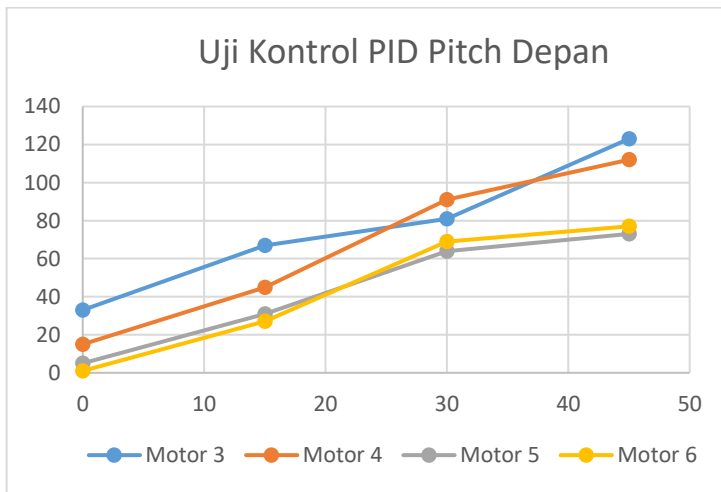
### 4.3 Pengujian Kontrol PID

Pengujian kontrol PID dengan sensor MPU6050 dimana memiliki 3 axis. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui keseimbangan gerak pada

robot. Pengujian dilakukan di dalam akuarium. Kontrol PID dimasukkan dengan nilai  $K_{p_{roll}} = 1.3$ ,  $K_{i_{roll}} = 2$ ,  $K_{d_{roll}} = 0.2$ ,  $K_{p_{pitch}} = 1.3$ ,  $K_{i_{pitch}} = 2$ ,  $K_{d_{pitch}} = 0.2$ .

#### 4.3.1 Pengujian Kontrol PID Pitch Depan dan Belakang

Gerakan pitch yaitu gerakan robot rotasi ke depan dan ke belakang dengan besar sudut tertentu. Dalam uji kontrol PID Pitch Depan ini bagian depan robot akan diangkat secara perlahan mulai dari sudut 0 derajat, 15, 30, hingga 45 derajat. Ketika robot diangkat dengan besar sudut tertentu, data kecepatan motor yang membantu robot untuk bergerak secara vertikal lalu diambil dan direkam. Nilai kecepatan motor diukur berdasarkan nilai PWM masing-masing motor. Semakin besar nilai PWM, maka semakin besar kecepatan motor. Pengujian kontrol PID pitch depan didapatkan hasil sebagai berikut.

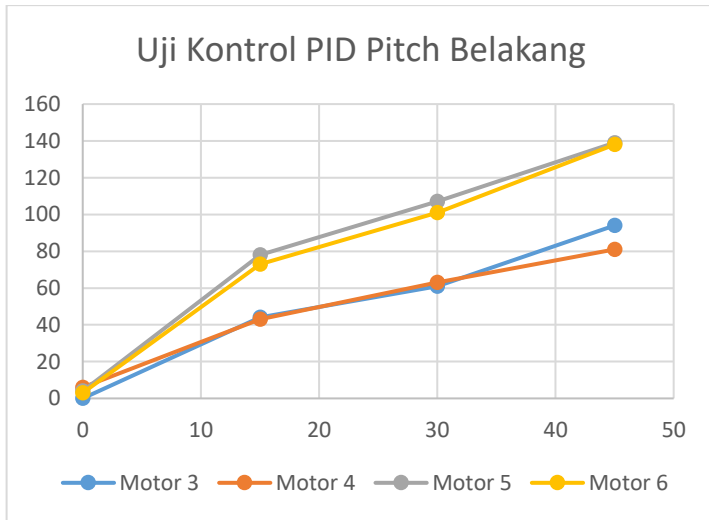


**Gambar 4.5** Hasil Kontrol PID Pitch Depan

Dari gambar grafik seperti dilihatkan di atas, dapat dilihat bahwa kecepatan PWM motor 5 dan motor 6 bernilai lebih besar. Ketika uji coba pitch depan, bagian hidung depan robot akan diangkat. Ketika bagian depan robot diangkat, maka motor 5 dan motor 6 pada bagian belakang memiliki nilai PWM lebih besar dibandingkan motor 3 dan motor 4 agar robot mencapai titik keseimbangannya kembali. Ketika bagian depan

motor lebih tinggi daripada bagian belakang motor, maka bagian belakang motor akan bergerak lebih cepat untuk mencapai titik sudut 0 derajat.

Sedangkan pengujian kontrol PID pitch belakang didapatkan hasil sebagai berikut.



**Gambar 4.6** Hasil Kontrol PID Pitch Belakang

Dari data grafik diatas, dapat dilihat bahwa ketika dilakkan uji coba gerakan robot Pitch belakang, artinya bagian belakang robot diangkat, maka motor 3 dan motor 4 yang berada di depan mempunyai nilai PWM yang lebih besar dibandingkan dengan PWM pada motor 5 dan motor 6. Hal ini sebab ketika bagian belakang motor diangkat, motor 3 dan motor 4 pada bagian depan akan berputar lebih cepat agar mengembalikan posisi robot kepada keseimbangan. Maka robot akan mengembalikan posisi dirinya sendiri pada posisi 0 derajat.

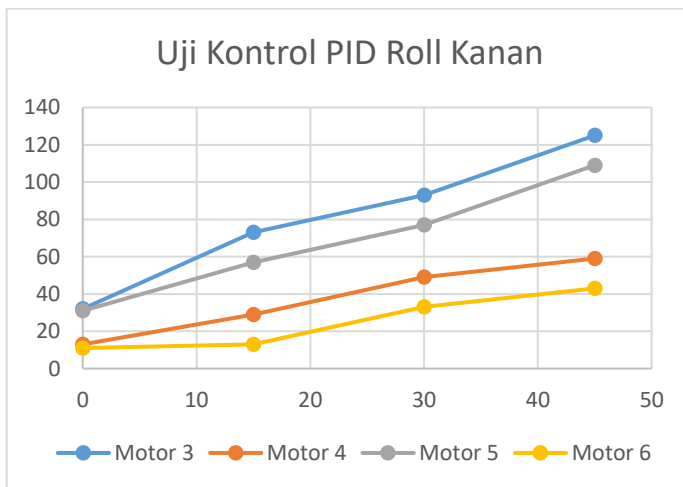
#### 4.3.2 Pengujian Kontrol PID Roll Kanan dan Kiri

Pengujian kontrol Roll PID dilakukan untuk mengetahui respon motor ketika robot dalam keadaan posisi Roll, yaitu ketika robot beerada dalam posisi miring ke samping kanan, atau kiri. Nilai PWM untuk mengetahui ketika keadaan roll motor mana yang akan bergerak lebih

cepat dan motor mana yang akan bergerak lebih lambat. Pengujian kontrol PID roll depan didapatkan hasil sebagai berikut.

Dari data grafik didapatkan hasil bahwa ketika sudut kemiringan positif maka semakin besar sudut roll maka semakin besar pula RPM motor 3 dan motor 5. Berbeda dengan motor 4 dan motor 6 bahwa besar sudut berbanding terbalik dengan PWM. Hal ini dikarenakan motor 1 dan motor 2 berada di posisi lebih rendah dibanding motor 3 dan motor 4.

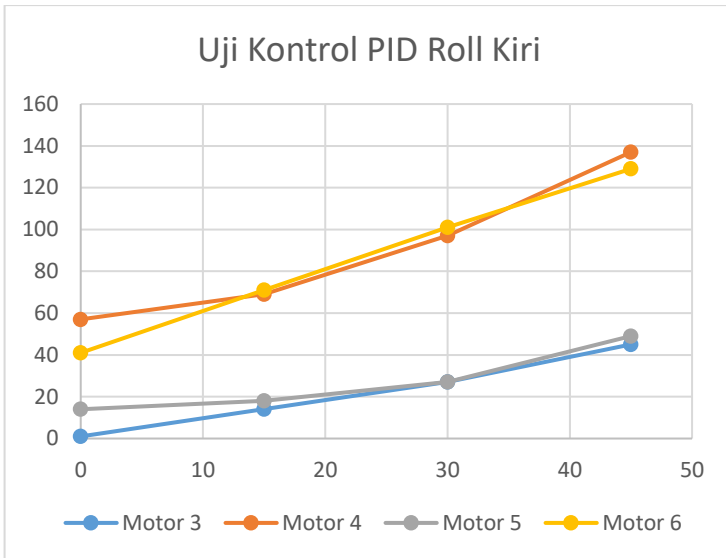
Kecepatan Motor 3 dan motor 5 menjadi lebih besar nilai PWM nya untuk membuat robot berusaha menjadi stabil kembali atau pada sudut kemiringan 0 derajat.



**Gambar 4.7** Hasil Kontrol PID Roll Kanan

Sedangkan pengujian kontrol PID roll kiri didapatkan hasil sebagai berikut.





**Gambar 4.8** Hasil Kontrol PID Roll Kiri

Dari data grafik di atas didapatkan hasil bahwa ketika sudut negatif maka semakin besar sudut roll maka semakin besar pula RPM motor 4 dan motor 6. Berbeda dengan motor 3 dan motor 5 bahwa besar sudut berbanding terbalik dengan nilai PWM. Hal ini dikarenakan motor 4 dan motor 6 berada di posisi lebih rendah disbanding motor 3 dan motor 6.

Motor 4 dan motor 6 menjadi lebih besar nilai PWM nya untuk membuat robot berusaha menjadi stabil kembali atau pada sudut kemiringan 0 derajat.

#### 4.4 Uji Kecepatan Naik ROV dengan Beban

Pengujian ROV yang ke-empat ini bertujuan untuk mengetahui seberapa besar kemampuan ROV untuk bergerak ketika diberi beban dengan berat tertentu. Untuk pengujian ini, beban yang digunakan ialah paku besi dengan berat 1 kilogram yang dipasang pada bagian depan ROV. Paku-paku pemberat ini lalu dimasukkan ke dalam pipa dengan diameter 2 inci dan panjang 10 cm. Pengujian ini dilakukan di aquarium pengujian robot ROV di depan laboratorium elektronika A206. Pada saat pengujian, alat bantu yang digunakan ialah sebuah stopwatch yang

terdapat di dalam *smartphone*. Tinggi permukaan air di aquarium ialah 50 centimeter.

Dalam pengujian ini, robot ROV diprogram untuk menggerakkan semua motor untuk pergerakan vertikan dengan nilai PWM sebesar 125. Motor 3, 4, 5, dan 6 di set untuk bergerak dengan kecepatan yang sama. Robot pertama kali dibiarkan berada pada posisi terbawah aquarium. Ketika robot sudah berada dibagian dasar aquarium, motor penggerak dinyalakan. Dari hitungan stopwatch, lama waktu yang dibutuhkan robot ROV untuk bergerak dari dasar aquarium ke permukaan air ialah sebesar 3,8 detik. Sehingga, berikut hitungan kecepatan naik ROV dengan beban.

$$t = 3,8 \text{ detik}$$

$$h = 50 \text{ cm}$$

Maka nilai  $v = \frac{h}{t}$

$$v = \frac{50 \text{ cm}}{3,8 \text{ detik}}$$

$$v = 13,157 \text{ cm/detik}$$

Dari hitungan di atas, kecepatan naik ROV ketika robot diberi beban seberat 1kg ialah 13,157 cm/detik.

## 4.5 Pengujian Sensor pH

### 4.5.1 Kalibrasi Sensor pH

Data mentah yang dihasilkan oleh sensor pH berupa nilai analog rentang dari angka 0 hingga 1023. Data mentah ini lalu dikalibrasi dengan mengelompokkan nilai data mentah sebagai nilai x dan nilai pH sebenarnya sebagai nilai y. Dalam proses kalibrasi digunakan 3 macam cairan sebagai acuan nilai pH dan sebuah pH meter untuk melihat data pH yang sebenarnya. Tiga jenis cairan/buffer ialah buffer pH 4, buffer pH 10, dan cairan aquades dengan nilai pH 7.



**Gambar 4.9** Kalibrasi sensor pH

pH meter merupakan alat praktis untuk mendapatkan nilai pH, berwarna kuning sebagaimana pada Gambar 4.9. Nilai raw data (data mentah) dan nilai pH sebenarnya dalam proses kalibrasi dapat dilihat pada tabel berikut.

**Tabel 4.3** Nilai Pembacaan Sensor pH

| X   | y   |
|-----|-----|
| 393 | 6,9 |
| 73  | 3,4 |
| 592 | 8,4 |

Data mentah (x) dan nilai pH sebenarnya (y) ini lalu di olah dengan metode komputasi regresi. Berikut tabel komputasi regresi untuk prosen kalibrasi sensor pH.

**Tabel 4.4** Tabel Regresi Nilai Pembacaan Sensor pH

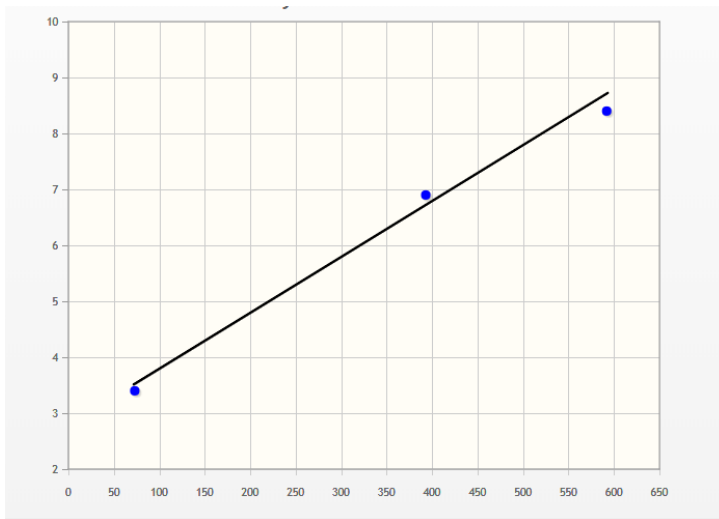
| x   | Y   | x.y    | x <sup>2</sup> |
|-----|-----|--------|----------------|
| 393 | 6,9 | 2711,7 | 154449         |
| 73  | 3,4 | 248,2  | 5329           |
| 592 | 8,4 | 4972,8 | 3500464        |

Selanjutnya, nilai a dan b dicari dari data tabel diatas dengan metode regresi dan didapatkan nilai  $a = 2,793$  dan nilai  $b = 0,01$ .

Sehingga persamaan akhir kalibrasi sensor pH ialah  $y = a + bx$  dan didapatkan persamaan sebagai berikut.

$$y = 2,793 + 0,01x \quad (4.2)$$

Dimana nilai  $y$  ialah nilai pH sebenarnya dan nilai  $x$  merupakan bacaan analog dari sensor pH yang digunakan. Persamaan ini menghasilkan grafik regresi. Grafik regresi tersebut dapat dilihat pada gambar dibawah ini.



**Gambar 4.10** Hasil regresi sensor pH

#### 4.5.2 Hasil pembacaan sensor pH

Setelah semua sistem siap untuk digunakan, uji coba selanjutnya ialah pembacaan uji coba pembacaan dan pemantauan nilai pH air. Uji pembacaan nilai pH ini dilakukan di danau 8 yang terletak di seberang Departemen Teknik Elektro ITS Surabaya. Sensor pH masuk ke dalam air dengan kedalaman 0 hingga 2 meter dari permukaan danau. Robot bergerak dalam luasan daerah 2 meter. Data pH dapat diambil dengan koneksi TxRx pada arduino dan bersambung dengan kabel LAN ke port Laptop. Berikut hasil pembacaan data pH di danau 8 Departemen Teknik Elektro ITS Surabaya.

**Tabel 4.5** Tabel hasil pembacaan sensor pH di danau 8

| Pembacaan Analog | Pembacaan sensor pH |
|------------------|---------------------|
| 348              | 5,26                |
| 365              | 6,05                |
| 347              | 5,21                |
| 357              | 5,68                |
| 359              | 5,77                |
| 349              | 5,3                 |

Setelah sensor pH membaca nilai pH pada perairan danau 8 ITS Surabaya, sample air di danau 8 diambil untuk menghitung error pembacaan sensor. Sample air dari danau 8 lalu dibawa ke laboratorium dan diukur nilai pH nya menggunakan pH meter. Hasil pembacaan pH meter, pH air danau 8 ITS Surabaya bernilai 6,4.

Dari pembacaan sensor pH dan pembacaan pH meter, terdapat error pembacaan. Rata-rata error pembacaan sensor pH adalah sebesar 0,855 nilai pH.

$$Error = \frac{rata-rata\ error}{14} \times 100\% \quad (4.3)$$

$$Error = \frac{0,855}{14} \times 100\%$$

$$Error = 6,1\%$$

Berdasarkan hasil uji pembacaan sensor pH pada pengerjaan Tugas Akhir, rata-rata error pembacaan sensor pH ialah sebesar 6,1%.

#### 4.6 Spesifikasi Robot ROV Setelah Pengujian

Robot ROV dalam pengerjaan Tugas Akhir ini diberikan beberapa pengujian untuk mengetahui kemampuan robot. Diantara pengujian yang dilakukan dalam pengerjaan tugas akhir ini ialah pengujian kontrol PID, pengujian kecepatan naik robot ketika diberi beban, pengujian sensor pH dan pengujian-pengujian lainnya. Dari beberapa pengujian yang telah dilakukan, terdapat beberapa perubahan spesifikasi dibandingkan spesifikasi yang diharapkan ketika proses perancangan robot *underwater* ROV untuk pengerjaan tugas akhir ini. Berikut tabel spesifikasi robot ROV dalam tugas akhir ini setelah dilakukan pengujian.

**Tabel 4.6** Spesifikasi setelah pengujian

| <b>Spesifikasi</b> | <b>Data</b>     |
|--------------------|-----------------|
| Dimensi Robot      | 30 x 28 x 15    |
| Jumlah Motor       | 6 buah          |
| Input Tegangan     | 12 Volt         |
| Jarak Kendali      | 0 – 7 meter     |
| Kedalaman Maksimum | 2 meter         |
| Berat              | 4 kg            |
| Pembacaan pH       | 0-14 $\pm$ 6,1% |
| Durasi Pemakaian   | 5 menit         |

Beberapa hal dalam spesifikasi perancangan berubah ketika robot telah direalisasikan. Ada beberapa alasan penyebab turunnya kemampuan robot yang telah dibuat dalam tugas akhir ini, diantaranya ialah kedalaman maksimum dan durasi pemakaian berkurang disebabkan desain mekanis yang mana ketika robot berada dalam air, *body* utama robot mengalami kebocoran. Pembacaan pH juga mengalami error sekitar 6,1% memiliki keterangan lebih lanjut di BAB 4 ini. Spesifikasi robot diuji di danau 8 Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya dan di dalam aquarium besar di depan LAB A206 Departemen Teknik Elektro ITS.

## **BAB V**

### **PENUTUP**

#### **4.7 Kesimpulan**

Adapun kesimpulan yang dapat diambil dari pengujian dan analisa robot ROV ini adalah sebagai berikut :

1. Rancangan robot ROV memiliki dimensi 30 x 28 x 15 menggunakan 6 buah motor untuk bergerak, dimana 4 motor untuk gerakan vertikal dan 2 motor berfungsi membantu pergerakan secara horizontal.
2. Robot dikendalikan dari atas permukaan air menggunakan *controller* PS2 yang disambungkan dengan kabel ke dalam air dengan panjang 8 meter.
3. Kestabilan robot diatur menggunakan *PID controller* yang mendapatkan nilai *feedback* dari sensor MPU6050 dan sensor MS5803. Sensor MPU6050 memberikan nilai *feedback* berupa posisi setpoint robot, dan sensor tekanan MS5803 berfungsi untuk mendata kedalaman robot UROV, dan juga membantu menjaga kestabilan robot ketika bergerak secara vertikal ke atas dan ke bawah. Sensor ini mendeteksi tekanan air, yang nanti dikalibrasi dan dikonversikan ke kedalaman ROV dari permukaan air dalam satuan cm. Error sensor kedalaman sebesar 0-3 cm.
4. Perancangan sensor pH menggunakan sensor pH dari *dfrobot* dengan pembacaan nilai pH pada danau 8 ITS Surabaya memiliki error pembacaan sebesar 6,1%.

#### **4.8 Saran**

Adapun saran yang dapat diberikan sebagai upaya perbaikan robot pada masa mendatang, yaitu robot UROV ini dapat dikembangkan lagi dengan menambahkan sensor-sensor lainnya yang dapat menjadi parameter tingkat kualitas suatu perairan seperti: sensor suhu, konduktivitas, kekeruhan air, dissolved oxygen, dan sensor lainnya.

***Halaman ini Sengaja Dikosongkan***



## DAFTAR PUSTAKA

- [1] K. M. Thu, "Modeling and Design Optimization for Quadcopter Control System Using L1 Adaptive Control".
- [2] L. E. Romero, "Quadcopter stabilization by using PID controllers".
- [3] P. J. Craven, "Control Strategies for Unmanned Underwater Vehicles," *IEEE*, 1998 .
- [4] F. Rodrigues, "Fabrication and characterization of a pH sensor".
- [5] [Online]. Available: <https://www.dfrobot.com/wiki/index.php/File:DSC0018.JPG>. [Accessed 1 January 2018].
- [6] [Online]. Available: <http://www.modularcircuits.com/blog/articles/h-bridge-secrets/h-bridges-the-basics/>. [Accessed 2018].
- [7] [Online]. Available: <https://www.rchelicopterfun.com/rc-lipo-batteries.html>. [Accessed 2018].
- [8] [Online]. Available: [https://www.dfrobot.com/wiki/index.php/PH\\_meter\(SKU:\\_SE\\_N0161\)](https://www.dfrobot.com/wiki/index.php/PH_meter(SKU:_SE_N0161)). [Accessed 8 January 2018].
- [9] [Online]. Available: <https://rogershobbycenter.com/lipoguide/>. [Accessed 2018].
- [10] T. Vlas, "Identification and path following control of an AR. Drone quadrotor," *The Proceedings of International Conference*

*System Theory Control and Computing (ICSTCC)*, pp. pp. 583-588, 2013.

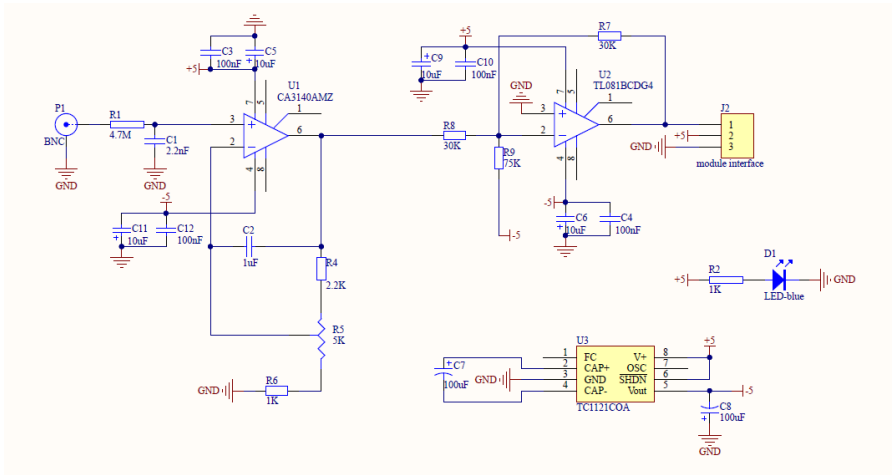
- [11] A. Hernandez, "Model Predictive Path-Following Controller of AR. Drone Quadrotor," *emorias del XVI Congreso Latinoamericanode Control Automtico*, pp. pp. 14-17, 2014.
- [12] A. Vasiljević, "Coordinated Navigation of Surface and Underwater Marine Robotic Vehicles for Ocean Sampling and Environmental Monitoring," *IEEE*.
- [13] K. Komaki, "Development and application of chemical sensors mounting on underwater vehicles to detect hydrothermal plumes".
- [14] P. R. Indonesia, Peraturan Pemerintah Nomor 82 Tahun 2001, Jakarta, 2001.
- [15] A. H. Koli, Rancang Bangun Robot Bawah Air Mini ROV (Remotely Operated Vehicles) Berbasis Mikrokontroler, Tanjungpura: Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Tanjungpura, 2015.
- [16] A. Adriansyah, Perancangan Pergerakan Robot Bawah Air, Fakultas Teknik Universitas Mercu Buana, 2008.
- [17] S. Montambault and C. M. Gosselin, "Analysis of Underactuated Mechanical Grippers," 2001.
- [18] M. S. M. Aras, F. A. Azis, L. W. Teck, S. S. Abdullah and A. F. N. A. Rahman, "System Identification of a Prototype Small Scale for Depth Control," 2015.

- [19] A. Khadhraoui, L. Beji, S. Otmane and A. Abichou, "Stabilizing control based observer for a remotely operated vehicle ( ROV – Observer )," 2015.
- [20] C. S. Chin, M. W. Shing Lau, E. Low and G. G. Lee Seet, "Design of Thruster Configuration and Thrust Allocation Control for a Remotely Operated Vehicle," 2006.
- [21] M. H. Assiddiqi, R. Mardiyanto and D. Purwanto, Rancang Bangun Robot Pembersih Lantai Kolam Renang, Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, 2017.
- [22] P. A. Dyaksa, R. Mardiyanto and D. Purwanto, Rancang Bangun Robot Pengambil Objek Bawah Air, Insitut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya: Surabaya, 2017.
- [23] K. Ogata, Modern Control Engineering 4th, PTR Upper Saddle River, NJ, USA: Prentice Hall, 2001.
- [24] F. Hildago, J. Mendoza dan F. Cuellar, "ROV-based acquisition system for water quality measuring.," 2015.
- [25] K. Komaki, K. Okamura dan T. Noguchi, "Development and application of chemical sensors mounting on underwater vehicles to detect hydrothermal plumes," 2014.
- [26] M. Shakir, M. A. Khan, S. A. Malik dan Izhar-ul-Haq, "Design of Underwater Sensor Networks for Water Quality Monitoring," 2012.
- [27] A. Vasiljević, Đ. Nađ, F. Mandić, N. Mišković dan Z. Vukić, "Coordinated Navigation of Surface and Underwater Marine Robotic Vehicles for Ocean Sampling and Environmental Monitoring," 2017.

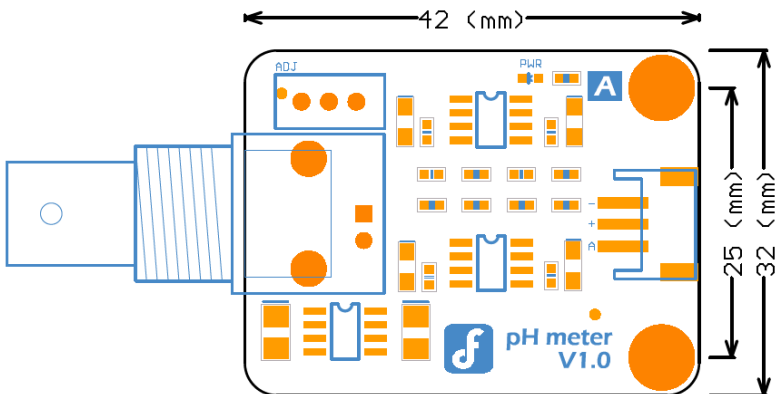
- [28] R. Kastner, A. Liny, C. Schurgersy, J. Jaffez, P. Franksz dan B. S. Stewartx, “Sensor Platforms for Multimodal Underwater Monitoring,” 2015.
- [29] A. Caiti, F. D. Coratoy, D. Fenucciy, S. Grechiy, M. Noviz, F. Paciniz dan G. Paoli, “The Project V-Fides: a new generation AUV for deep underwater exploration, operation and monitoring,” 2014.
- [30] A. Khadhraoui, L. Beji, S. Otmane dan A. Abichou, “Stabilizing control-based observer for a remotely operated vehicle (ROV – Observer),” 2015.
- [31] W. Budiman, M. Shanmugavel, V. Ragavan dan S. B. Lazarus, “A Low-Cost Underwater Navigation System for Remotely Operated Underwater Vehicle - Design, System-Integration, and Implementation,” 2014.
- [32] N. H. Tehrani, M. Heidari, Y. Zakeri dan J. Ghaisari, “Development, Depth Control and Stability Analysis of an Underwater Remotely Operated Vehicle (ROV),” 2010.

## LAMPIRAN

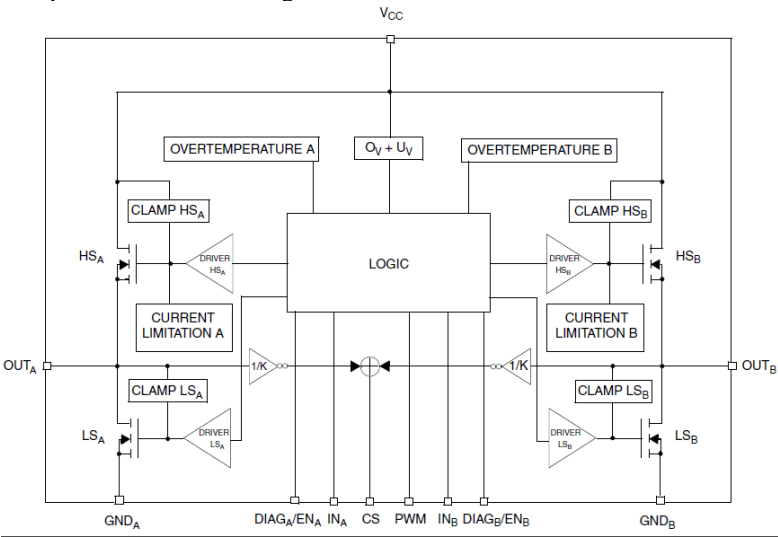
### Lampiran 1 Skematik Rangkaian sensor pH



### Lampiran 2 Layout sensor pH dari dfrobot



Lampiran 3 Skematik Rangkaian Modul Driver Motor VN2SP30



## Lampiran 4 Datasheet Motor Driver VN12SP30



### VN12SP30-E

#### Automotive fully integrated H-bridge motor driver

Datasheet - production data



#### Features

| Type       | $R_{DS(on)}$        | $I_{out}$ | $V_{CCmax}$ |
|------------|---------------------|-----------|-------------|
| VN12SP30-E | 19 mΩ max (per leg) | 30 A      | 41 V        |

- AEC-Q100 qualified
- 5 V logic level compatible inputs
- Undervoltage and overvoltage shutdown
- Overvoltage clamp
- Thermal shutdown
- Cross-conduction protection
- Linear current limiter
- Very low standby power consumption
- PWM operation up to 20 kHz
- Protection against loss of ground and loss of  $V_{CC}$
- Current sense output proportional to motor current
- Package: ECOPACK®



#### Description

The VN12SP30-E is a full bridge motor driver intended for a wide range of automotive applications. The device incorporates a dual monolithic high side driver and two low side switches. The high side driver switch is designed

using STMicroelectronics well known and proven proprietary VIPower™ M0 technology which permits efficient integration on the same die of a true power MOSFET with intelligent signal/protection circuitry.

The low side switches are vertical MOSFETs manufactured using STMicroelectronics proprietary EHD (STripFET™) process. The three die are assembled in a MultiPowerSO-30 package on electrically isolated leadframes. This package, specifically designed for the harsh automotive environments, offers improved thermal performance thanks to exposed die pads. Moreover, its fully symmetrical mechanical design allows superior manufacturability at board level. The input signals  $IN_A$  and  $IN_B$  can directly interface with the microcontroller to select the motor direction and brake condition. The  $DIAG_A/EN_A$  or  $DIAG_B/EN_B$ , when connected to an external pull-up resistor, enable one leg of the bridge. They also provide a feedback digital diagnostic signal. The normal operating condition is explained in the truth table. The motor current can be monitored with the CS pin by delivering a current proportional to its value. The speed of the motor can be controlled in all possible conditions by the PWM up to 20 kHz. In all cases, a low level state on the PWM pin will turn off both the  $LS_A$  and  $LS_B$  switches. When PWM rises to a high level,  $LS_A$  or  $LS_B$  turn on again depending on the input pin state.

Table 1. Device summary

| Package         | Order code    |
|-----------------|---------------|
|                 | Tape and reel |
| MultiPowerSO-30 | VN12SP30TR-E  |

## Lampiran 5 Datasheet Sensor Tekanan MS5803-14BA



### MS5803-14BA Miniature 14 bar Module



- High resolution module, 0.2 mbar
- Fast conversion down to 1 ms
- Low power, 1  $\mu$ A (standby < 0.15  $\mu$ A)
- Integrated digital pressure sensor (24 bit  $\Delta$ S ADC)
- Supply voltage 1.8 to 3.6 V
- Operating range: 0 to 14 bar, -40 to +85 °C
- I<sup>2</sup>C and SPI interface (Mode 0,3)
- No external components (Internal oscillator)
- Excellent long term stability
- Hermetically sealable for outdoor devices

### DESCRIPTION

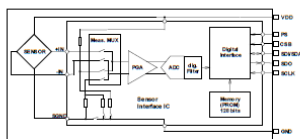
The MS5803-14BA is a new generation of high resolution pressure sensors with SPI and I2C bus interface. It is optimized for depth measurement systems with a water depth resolution of 1cm and below. The sensor module includes a high linear pressure sensor and an ultra low power 24 bit  $\Delta$ S ADC with internal factory calibrated coefficients. It provides a precise digital 24 Bit pressure and temperature value and different operation modes that allow the user to optimize for conversion speed and current consumption. A high resolution temperature output allows the implementation of a depth measurement systems and thermometer function without any additional sensor. The MS5803-14BA can be interfaced to any microcontroller. The communication protocol is simple, without the need to programming internal registers in the device. The gel protection and antimagnetic stainless steel cap protects against 30 bar overpressure water resistant. This new sensor module generation is based on leading MEMS technology and latest benefits from the Intersema's proven experience and know-how in high volume manufacturing of pressure modules have been widely used for over a decade. This sensing principle employed leads to very low hysteresis and high stability of both pressure and temperature signal.

### FEATURES

#### FIELD OF APPLICATION

- Mobile water depth measurements systems
- Diving computers
- Adventure or multi-mode watches

#### FUNCTIONAL BLOCK DIAGRAM



#### TECHNICAL DATA

| Sensor Performances (V <sub>DD</sub> = 3 V) |                              |       |      |         |
|---|------------------------------|-------|------|---------|
| Pressure                                    | Min                          | Typ   | Max  | Unit    |
| Range                                       | 0                            |       | 14   | bar     |
| ADC   |                              | 24    |      | bit     |
| Resolution (1)                              | 1 / 0.6 / 0.4 / 0.3 / 0.2    |       |      | mbar    |
| Accuracy 0°C to +40°C, 0 to 6 bar (2)       | -20                          |       | +20  | mbar    |
| Accuracy -40°C to +85°C 0 to 6 bar (2)      | -40                          |       | +40  | mbar    |
| Response time                               | 0.5 / 1.1 / 2.1 / 4.1 / 8.22 |       |      | ms      |
| Long term stability                         | -20                          |       |      | mbar/yr |
| Temperature                                 | Min                          | Typ   | Max  | Unit    |
| Range                                       | -40                          |       | +85  | °C      |
| Resolution                                  |                              | <0.01 |      | °C      |
| Accuracy                                    | -0.8                         |       | +0.8 | °C      |

Notes: (1) Oversampling Ratio: 256 / 512 / 1024 / 2048 / 4096  
(2) With autozero at one pressure point



## BIOGRAFI



Andika Cendekia Prima lahir di Padang pada 12 Desember 1993 yang merupakan anak ke dua dari empat bersaudara. Penulis menyelesaikan pendidikan dasar di SD Negeri 48 Kuranji Padang, dilanjutkan pendidikan pendidikan tingkat menengah di Mdratsah Tsanawiyah Gunung Pangilun dan sekolah tingkat atas di SMA Negeri 1 Padang dengan 1 tahun SMA digunakan di Greeley Centra High School, Colorado. Penulis memulai kehidupan perkuliahan pada tahun 2013 di Departemen Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Elektro, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Selama masa perkuliahan, penulis aktif dalam berbagai kegiatan dalam kampus maupun ekstra kampus yang dilaksanakan di dalam negeri dan luar negeri seperti NES ISTEK, IMAMI Surabaya, Global Korea Scholarship in-depth training, Istanbul Aydin University Summer School Program. Pembaca dapat menghubungi penulis di [acprima12@gmail.com](mailto:acprima12@gmail.com)